UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharias

Caracterização e Análise de Patologias em Materiais Pétreos no Castelo de Marialva

Nelson Barata Antunes

Tese para obtenção do Grau de Doutor em
Engenharia Civil
(3º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Victor Manuel Pissarra Cavaleiro
Co-orientador: Prof. Doutor Abel João Padrão Gomes

Covilhã, Novembro de 2016

Ao Guilherme e ao Lourenço...

Agradecimentos

Muitas foram as pessoas que contribuíram das mais diversas formas na elaboração deste trabalho.

Agradeço ao Professor Doutor Victor Manuel Pissarra Cavaleiro, meu orientador científico, pelo seu apoio e disponibilidade total durante a elaboração desta tese e, pela sua ajuda preciosa em todos os passos da investigação realizada. Não posso deixar de mencionar o privilégio e prazer que é trabalhar com alguém de tão alto nível de profissionalismo, como também, de elevada categoria pessoal e humana.

Ao Professor Doutor Abel João Padrão Gomes, meu co-orientador científico, por todo o apoio, incentivo, disponibilidade e ensinamentos transmitidos, para que a componente da aplicação informática, pudesse ser realizada.

Ao Doutor Sérgio Dias, co-autor da componente da aplicação informática "CollPhat", por toda a disponibilidade, interesse e ajuda na realização da mesma.

Ao Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura da Universidade da Beira Interior, por ter disponibilizado todos os meios, tanto humanos como materiais, durante todo o tempo de realização deste trabalho.

Aos Mestres José Riscado e Filipe Nunes, por toda a disponibilidade durante a realização deste trabalho, bem como, pela ajuda na realização dos ensaios, tanto "*in situ*" como laboratoriais.

À Direção da Escola Superior de Artes Aplicadas do Instituto Politécnico de Castelo Branco, por todo o apoio e disponibilidade de horário.

À Delegação de Castelo Branco da Direção Regional de Cultura do Centro, por toda a documentação fornecida e pela autorização para a elaboração dos ensaios no interior do Castelo de Marialva.

Agradeço à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), através do projeto GEOBIOTEC - UID/GEO/04035/2013, por todo o apoio à realização e concretização deste trabalho.

Aos meus pais (Alice Barata e Alfredo Antunes), irmã (Ana Antunes), cunhado (Rui Poças) e sobrinha (Constança Poças) pelo encorajamento, compreensão e pelo apoio despendido.

Aos meus filhos (Guilherme Antunes e Lourenço Antunes), por toda a paciência e compreensão pela falta de tempo disponível.

A uma grande amiga (Ana Teixeira), a qual me fez ver a vida de uma forma diferente e, que me ajudou, não só na realização deste trabalho, mas também na realização de outros projetos de vida.

A uma pessoa muito especial (Sara Nunes), por ter estado sempre presente em todos os momentos sem nunca ter desistido e sobretudo, por ter tornado possível a realização de um sonho.

A Todos um *Bem Hajam*.

Resumo

A reabilitação de edifícios é uma atividade em franca expansão, tanto pela crescente preocupação cultural na manutenção e recuperação deste tipo de edifícios, como pela quantidade de edifícios antigos com necessidades urgentes de intervenção. Embora nos últimos anos, se tenha verificado um aumento, ou uma maior aposta, nas intervenções de reabilitação, não deixa de ser verdade que Portugal se encontra na cauda da Europa, no que a este aspeto se refere.

A aposta na conservação dos edifícios, antes de se verificar a necessidade de uma intervenção de reabilitação profunda e de grandes encargos financeiros, seria uma mais valia, tanto para o próprio edifício como para o seu promotor. Sendo a maioria dos edifícios históricos (monumentos) constituídos essencialmente por pedra, pelo menos na sua parte estrutural, a qual suporta todos os outros elementos, a conservação dos materiais pétreos torna-se essencial para o sucesso de todas as outras intervenções realizadas, ou mesmo para a não intervenção em outros elementos.

Uma situação muito comum e preocupante é o modo como se procede ao levantamento e análise das patologias ou anomalias detetadas num determinado monumento ou nos seus materiais constituintes. O levantamento das patologias, irá condicionar todo o projeto de reabilitação e consequentemente a sua execução e custos associados, pelo que se julga de extrema importância reduzir a subjetividade desta etapa, não deixando ao critério de uma única pessoa ou entidade que se desloca ao local. Muitas vezes, nestes casos, tratam-se de intervenientes sem conhecimentos técnicos para o efeito, e assumem a responsabilidade de dar início a um processo que, normalmente, envolve muitos milhares de euros.

Parece extremamente importante, tal como noutras áreas projetuais, estabelecer uma representação gráfica, que identifique claramente o tipo de patologia que foi detetada ou se pretende tratar. A criação de uma simbologia própria para cada tipo de patologia, vem uniformizar e implementar uma linguagem comum entre os vários profissionais da área.

Parece ser unânime e consensual o reconhecimento da elevada importância da objetividade e fiabilidade na recolha dos dados (levantamentos) "*in situ*", uma vez que se trata do primeiro contato com as situações patologicas existentes e, se este trabalho se reverter de subjetividade, porá em causa todas as fases de projetos que se seguirão. Um levantamento mal executado, será a base para um projeto de execução inadequado às situações realmente existentes, tendo como consequência a inviabilização da concretização do mesmo, trazendo

danos irreversíveis para a edificação, além dos custos económicos inerentes a um projeto desajustado à realidade existente.

A inclusão das novas tecnologias, em benefício da redução da subjetividade dos levantamentos realizados em campo, tornando cada processo o mais objetivo e intuitivo possível, independentemente da visão ou sensibilidade do técnico que o realiza, bem como, a fiabilidade dos dados recolhidos e a interação entre vários utilizadores mesmo em locais diferentes, será uma mais valia para se atingir o principal objetivo de um projeto de conservação. O objetivo de elaborar um projeto de execução adequado à situação real, com técnicas e metodologias apropriadas e sem custos associados a erros projetuais, os quais trarão encargos económicos imprevisíveis para os seus promotores.

Palavras-chave

Conservação; Reabilitação; Patologias; Pedra Natural; CollPath

Abstract

The buildings rehabilitation is an activity in full expansion, mainly due to the growing cultural awareness in the maintenance and recovery of such buildings, and also because the amount of old buildings with urgent intervention needs. Although in recent years there has been noticed an increase, or greater investment in the rehabilitation interventions, it is nonetheless true that Portugal is in the tail of Europe concerning this aspect.

The focus on buildings conservation, before verifying the need for a deep rehabilitation intervention and therefor larger financial burden, would be an asset for both the building conservation and to its promoter. The majority of the historic buildings (monuments) are mainly made of stone, at least in its structural part, which supports all the other elements, making the conservation of stone materials essential to the success of all other interventions, or even for non-intervention in other elements.

A very common and upsetting situation is the kind of procedures used to survey and analyse the diseases or abnormalities detected in a particular monument or their constituent materials. The pathology survey, will affect the entire rehabilitation project and consequently its implementation and associated costs, for what is thought its utmost importance to reduce the subjectivity this stage, resting on a single person or entity evaluation a decision for the future of the building. Often in these cases, they are simple employees without technical knowledge to do so, and take on themselves the responsibility to initiate a process that usually involves many thousands of euros.

It seems extremely important, as other design areas, establishing a graphical representation, which clearly identifies the type of condition that was detected or needs to be taken care of. Creating a proper symbology for each kind of pathology will standardize and implement a common language between different professionals.

It seems to be unanimous and consensual the recognition of the high importance of objectivity and reliability of data collection (surveys) "in situ" as it is the first contact with the existing pathologies, and if this work is shielded by subjectivity, will put in to question all the following stages of the project. A survey poorly executed, will be the basis of an inappropriate project implementation, regardless of the real problems, a non-achievable project as consequence, creating irreversible damages to the building, and in addition, economic cots of an unfit project to the existing reality".

The inclusion of new technologies for the purpose of reducing the subjectivity of surveys conducted in the field, turning the process more objective and intuitive as possible, regardless of the vision or sensibility of the technician who performs it, as well of the collected data reliability and interaction even among multiple users in different locations, it will be an asset to achieve the main goal of a project conservation. The purpose of preparing an appropriate project implementation adapted to the real situation, with accurate techniques and methodologies and no costs associated with projection errors, otherwise will bring unpredictable economic burden on their promoters.

Keywords

Conservation; Rehabilitation; Pathologies; Natural stone; CollPath

Índice

1 Introdução 1

1.1 Enquadramento do tema 1

1.2 Objetivos 10

1.3 Metodologia 11

1.4 Estrutura 16

2 Classificação tipológica de pedras naturais em alvenarias 18

2.1 Alvenaria de pedra aparelhada 21

2.2 Alvenaria ordinária 23

2.3 Alvenaria de pedra seca ou sem junta 25

2.4 Paredes em pedra com funções estruturais 26

3 Patologias e fatores de alteração 31

3.1 Tipos de decaimento 32

3.2 Mecanismos e agentes do decaimento 37

3.2.1 – Ação da água 37

3.2.2 – Ação da atmosfera (contaminantes atmosféricos) 39

3.2.3 – Ação dos (micro) organismos 42

3.2.4 – Ação humana 44

3.2.5 – Desastres naturais 45

3.3 Principais patologias em monumentos 46

3.3.1 – Abrasão 47

3.3.2 – Alteração cromática 48

3.3.3 – Alveolização 48

3.3.4 – Arenização, pulverização, enfarinhamento 49

3.3.5 – Cavernas 49

3.3.6 – Colonização biológica 49

3.3.7 – Concreção 51

3.3.8 – Corrosão de fixações metálicas 51

3.3.9 – Crosta 51

3.3.10 – Danos de guerra 53

3.3.11 – Deformação 53

3.3.12 – Degradação diferencial 54

3.3.13 – Depósito superficial 55

3.3.14 – Desagregação granular 55

3.3.15 – Eflorescência 56

3.3.16 – Empolamento 57

3.3.17 – Erosão 57

3.3.18 – Escamação ou Descamação 59
3.3.19 – Esfoliação 59
3.3.20 – Fissura 60
3.3.21 – Fratura 60
3.3.22 – Fragmentação – esboramento 61
3.3.23 – Incrustração 62
3.3.24 – Junta aberta 62
3.3.25 – Lacuna 62
3.3.26 – Lascagem 63
3.3.27 – Mancha 64
3.3.28 – Pátina 65
3.3.29 – Película 65
3.3.30 – Picadura ou Picamento 66
3.3.31 – Placa 66
3.3.32 – Plaqueta 67
3.3.33 – Pulverização 68
3.3.34 – Vegetação 68
4 Metodologias, intervenção e suas consequências 69
4.1 Cartas, convenções e recomendações 69
4.2 Métodos de conservação e restauro de pedras em monumentos 71
4.2.1 – Limpeza 74
4.2.1.1 – Técnicas físicas e mecânicas 75
4.2.1.2 – Casos especiais 82
4.2.2 – Consolidação 85
4.2.2.1 – Caraterísticas gerais dos consolidantes 86
4.2.2.2 – Tipos de consolidantes 87
4.3 Proteção e manutenção 92
5 Patologias no caso de estudo 97
5.1 Localização 97
5.2 Geologia da região 100
5.3 Descrição e caraterização do monumento 102
5.3.1 – Caraterização 102
5.3.2 – Proteção 103
5.3.3 – Enquadramento 103
5.3.4 – Intervenções e/ou estudos nos Séculos XX/XXI 103
5.3.5 – Materiais 105
5.3.6 – Registo fotográfico 105
5.4 Últimas Intervenções Realizadas 106
5.4.1 – Intervenções realizadas em 2001 107

5.4.2 – Intervenções realizadas em 2004 110
5.5 Principais patologias 119
5.5.1 – Casa da Câmara 120
5.5.2 – Torre de Menagem 121
5.5.3 – Muralha envolvente à Torre de Menagem 126
5.5.4 – Igreja de S. Tiago 130
5.5.5 – Muralhas envolventes 132
6 Ensaios "*In Situ*" e Laboratoriais 139
6.1 Ensaios "*In Situ*" não destrutivos 140
6.1.1 – Esclerómetro ou Martelo de Schmidt 142
6.1.1.1 – Descrição do ensaio 142
6.1.1.2 – Resultados do ensaio 145
6.1.2 – Pistola de Windsor 147
6.1.2.1 – Descrição do ensaio 147
6.1.2.2 – Resultados do ensaio 149
6.1.3 – Ensaio de Velocidade de Propagação das Ondas Ultra-Sónicas 150
6.2 Ensaios Laboratoriais 152
6.2.1 – Obtenção de amostras/provetes 152
6.2.2 – Ensaio de caraterização da porosidade, absorção e densidade 155
6.2.2.1 – Descrição do ensaio 156
6.2.2.2 – Resultados do ensaio 157
6.2.3 – Ensaio de Velocidade de Propagação das Ondas Ultra-Sónicas 157
6.2.3.1 – Descrição do ensaio 157
6.2.3.2 – Resultados do ensaio 158
6.2.4 – Ensaio uniaxial de compressão simples 158
6.2.4.1 – Descrição do ensaio 158
6.2.4.2 – Resultados do ensaio 160
6.2.5 – Ensaio uniaxial de compressão simples com extensometria 161
6.2.5.1 – Descrição do ensaio 161
6.2.5.2 – Resultados do ensaio 162
6.2.6 – Ensaio de desgaste em meio húmido 164
6.2.6.1 – Descrição do ensaio 164
6.2.6.2 – Resultados do ensaio 167
7 Análise de resultados 169
7.1 Ensaios de caraterização da porosidade aberta, absorção de água e densidade aparente 169
7.2 Ensaio de resistência à compressão uniaxial e Ensaio de propagação da velocidade das ondas ultra-sónicas 171
7.3 Ensaio de resistência à compressão uniaxial e Ensaios de caraterização da porosidade aberta, absorção de água e densidade aparente 174

7.4 Ensaio de propagação da velocidade das ondas ultra-sónicas e Ensaios de caraterização da porosidade aberta, absorção de água e densidade aparente 176

7.5 Ensaio com Recurso ao Martelo de Schmidt e Ensaio com Recurso à Pistola de Windsor 178

7.6 Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial e Ensaio com Recurso ao Martelo de Schmidt 179

7.7 Ensaio laboratorial de propagação da velocidade das ondas ultra-sónicas e Ensaio com Recurso ao Martelo de Schmidt 180

7.8 Ensaio "*In Situ*" de propagação da velocidade das ondas ultra-sónicas e Ensaio com Recurso ao Martelo de Schmidt 181

7.9 Ensaio uniaxial de compressão simples com extensometria 182

8 Aplicação informática "CollPath" 185

8.1 Sistema móvel 186

8.1.1 – Página de abertura 186

8.1.2 – Identificação do imóvel 187

8.1.3 – Tipologia 190

8.1.4 – Patologias 192

8.1.5 – Ensaios "*In Situ*" 197

8.1.5.1 – Martelo de Schmidt 197

8.1.5.2 – Pistola de Windsor 199

8.1.5.3 – Velocidade de Propagação das Ondas Ultra-Sónicas 201

8.1.6 – Análise de resultados 203

8.2 Sistema fixo 206

9 Conclusões mais relevantes e sugestões para estudos futuros 210

9.1 Conclusões 210

9.2 Sugestões para estudos futuros 212

Bibliografia 213

Anexos 217

Anexo I – Valores estimados da resistência à compressão uniaxial (Martelo de Schimdt) 219

Anexo II – Registo dos resultados do Martelo de Schimdt e o grau de alteração 220

Anexo III – Registo dos valores estimados da resistência à compressão uniaxial (Pistola de Windsor) 221

Anexo IV – Valores da porosidade aberta, absorção de água e densidade aparente das diferentes amostras 222

Anexo V – Valores de velocidade de propagação dos ultra-sons nas diferentes amostras 225

Anexo VI – Valores da resistência à compressão uniaxial (σc), após ensaio nos provetes das diferentes amostras 228

Lista de Figuras

Figura 01.01 – Patologias verificadas no alçado Este da Torre de Menagem

Figura 02.01 – Componentes da alvenaria de pedra: pedra, argamassa e vazios

Figura 02.02 – Exemplo de alvenaria de pedra aparelhada

Figura 02.03 – Exemplos de Pedras para se obter a Alvenaria Aparelhada

Figura 02.04 – Diversos aspetos possíveis de alvenaria aparelhada

Figura 02.05 – Construção em alvenaria ordinária

Figura 02.06 – Tipologias de assentamento de pedra

Figura 02.07 – Muro de suporte de alvenaria seca

Figura 02.08 – Técnica mista

Figura 02.09 – Classificação das alvenarias de pedra quanto ao tipo de aparelho

Figura 02.10 – Classificação das alvenarias de pedra quanto ao tipo assentamento

Figura 02.11 – Classificação da secção das paredes em alvenaria de pedra segundo o número de paramentos

Figura 02.12 – Exemplos típicos do aspeto de secções transversais de paredes de alvenaria em pedra

Figura 03.01 – Fatores de alteração ou decaimento das rochas dos monumentos

Figura 03.02 – Alteração cromática de alguns elementos - Catedral, Praga, República Checa

Figura 03.03 – Exemplo de alveolização – Mosteiro da Batalha

Figura 03.04 – Arenização do material pétreo – Muralha do Castelo de Pinhel

Figura 03.05 – Exemplo de cavernas – maciço granítico de suporte de parte da muralha dos Castelo de Marialva

Figura 03.06 – Aspeto de uma rocha com vários tipos de colonização biológica – Jardim da cidade – Castelo Branco

Figura 03.07 – Exemplo de concreção – claustro da antiga catedral de Notre-Dame de Nazaré, Vaison-la-Romaine, França

Figura 03.08 – Aspeto de fratura provocada por corrosão de uma fixação metálica – Jardim da cidade, Castelo Branco

Figura 03.09 – Exemplo de crostas negras – Mosteiro da Batalha

Figura 03.10 – Exemplo de perfuração provocada por bala – pequeno edifício, Baalbek quarry, Líbano

Figura 03.11 – Exemplo de deformação – Cemitério, Sélestat (Haut-Rhin), França

Figura 03.12 – Exemplo de depósito superficial – Sé do Porto

Figura 03.13 – Exemplo de desagregação granular – muralhas do Castelo de Marialva

Figura 03.14 – Exemplo de eflorescência – Antigas instalações da Câmara Municipal de Pinhel - Guarda

Figura 03.15 – Exemplo de empolamento - Catedral, Lausanne, Suíça

Figura 03.16 – Exemplo de erosão com perda de massa - Catedral, Rouen, França

Figura 03.17 – Exemplo de escamação – Jardim da cidade, Castelo Branco

Figura 03.18 – Exemplo de esfoliação – Catedral, Zeitz, Alemanha

Figura 03.19 – Paramento com silhares fissurados – Castelo de Marialva

Figura 03.20 – Exemplo de fratura de base de coluna – Mosteiro de Alcobaça

Figura 03.21 – Exemplo de incrustração – Jardim da cidade, Castelo Branco

Figura 03.22 – Exemplo de junta aberta – Porta de Santa Maria, Castelo de Marialva

Figura 03.23 – Exemplo de lacuna – Torre de Menagem - Castelo de Marialva

Figura 03.24 – Exemplo de lascagem – Igreja da abadia, Bouzonville (Moselle), França

Figura 03.25 – Exemplo de manchas – Catedral, Chartres, França

Figura 03.26 – Exemplo de envelhecimento natural da pedra – pequeno edifício na cidade de Guarda

Figura 03.27 – Exemplo de película

Figura 03.28 – Exemplo de picadura severa causada por líquenes – Castelo Culzean, Ayrshire, Escócia

Figura 03.29 – Exemplo de placas – Torre de Menagem, Castelo de Marialva

Figura 03.30 – Exemplo de plaquetas – Edifício da Reitoria, UBI, Covilhã

Figura 03.31 – Exemplo de abertura de junta entre silhares, por consequência da presença de vegetação superior – Muralhas de Almeida

Figura 05.01 – Localização geográfica no distrito da Guarda

Figura 05.02 – Pormenor da localização retirado do extrato da Carta Militar n.º 160 à escala 1:25000

Figura 05.03 – Mapa da aldeia de Marialva

Figura 05.04 – Extrato da carta geológica de Portugal

Figura 05.05 – Extrato da carta geológica de Portugal à escala 1:500000

Figura 05.06 – Vista aérea do Castelo de Marialva

Figura 05.07 – Vista da Torre de Menagem e muralha envolvente

Figura 05.08 – Últimas intervenções realizadas no castelo de Marialva

Figura 05.09 – Troço 1/01, Pano de muralha reconstruído

Figura 05.10 – Troço 2/01, Intervenção no pano de muralha envolvente da torre de menagem

Figura 05.11 – Troço 3/01, Aspeto do caminho de ronda após a intervenção

Figura 05.12 – Trabalhos de reconstrução de parte do troço 3/03

Figura 05.13 – Aspeto do troço 1/04 antes da intervenção

Figura 05.14 – Trabalhos de reconstrução do troço 1/04

Figura 05.15 – Resultado da intervenção e aspeto atual do troço 1/04

Figura 05.16 – Juntas abertas - Porta do Anjo

Figura 05.17 – Montagem de cimbre e recolocação de silhares

Figura 05.18 – Porta do monte após intervenção

Figura 05.19 – Aspeto do troço 7/04 antes da intervenção

Figura 05.20 – Aspeto atual do troço 7/04

Figura 05.21 – Aspeto do troço 8/04 antes da intervenção

Figura 05.22 – Intervenção no 8/04 (Recolocação de silhares)

Figura 05.23 – Aspeto atual do troço 8/04

Figura 05.24 – Igreja de Santiago e Capela do Sr. dos Passos

Figura 05.25 – Aspeto do vão e paramento da Igreja de Santiago

Figura 05.26 – Remoção de argamassas de cimento em pavimento por meios manuais

Figura 05.27 – Trabalhos de limpeza em paramentos em pedra (sem revestimento)

Figura 05.28 – Aspeto do revestimento da Capela, antes e após a execução dos trabalhos

Figura 05.29 – Desagregação granular associada a reparações - Alçado Norte da Casa da Câmara

Figura 05.30 – Alteração cromática e Colonização biológica - Alçado Oeste da Casa da Câmara

Figura 05.31 – Patologias verificadas no alçado Este da Torre de Menagem

Figura 05.32 – Patologias verificadas no alçado Norte da Torre de Menagem

Figura 05.33 – Patologias verificadas no alçado Oeste da Torre de Menagem

Figura 05.34 – Patologias verificadas no alçado Sul da Torre de Menagem

Figura 05.35 – Patologias verificadas no alçado Norte do pano interior da muralha envolvente à Torre de Menagem

Figura 05.36 – Patologias verificadas no alçado Oeste do pano interior da muralha envolvente à Torre de Menagem

Figura 05.37 – Patologias verificadas no alçado Este/Sul do pano interior da muralha envolvente à Torre de Menagem

Figura 05.38 – Patologias verificadas no alçado Norte do pano exterior da muralha envolvente à Torre de Menagem

Figura 05.39 – Patologias verificadas no alçado Este/Sul do pano exterior da muralha envolvente à Torre de Menagem

Figura 05.40 – Patologias verificadas no alçado Este da Igreja de S. Tiago

Figura 05.41 – Patologias verificadas no alçado Oeste da Igreja de S. Tiago

Figura 05.42 – Patologias verificadas no alçado Sul do pano exterior da muralha envolvente do recinto

Figura 05.43 – Patologias verificadas no alçado Sul do pano exterior da muralha envolvente do recinto

Figura 05.44 – Patologias verificadas no alçado Sul do pano exterior da muralha envolvente do recinto

Figura 05.45 – Patologias verificadas no alçado Sul/Este do pano exterior da muralha envolvente do recinto

Figura 05.46 – Patologias verificadas no alçado Norte/Oeste do pano exterior da muralha envolvente do recinto

Figura 05.47 – Patologias verificadas no alçado Este do pano interior da muralha envolvente do recinto

Figura 05.48 – Patologias verificadas no alçado Este e porta de Santa Maria do pano interior da muralha envolvente do recinto

Figura 05.49 – Patologias verificadas no alçado Oeste do pano interior da muralha envolvente do recinto

Figura 06.01 – Ábaco de Miller para o cálculo da resistência a partir do martelo Schmidt

Figura 06.02 – Várias zonas limpas para execução do ensaio

Figura 06.03 – Utilização do Esclerómetro durante a realização de um ensaio (utilização em várias direções)

Figura 06.04 – Utilização da Pistola de Windsor

Figura 06.05 – Penetração do projétil resultante do ensaio com a Pistola de Windsor

Figura 06.06 – Ábaco que permite estimar a resistência à compressão uniaxial de matérias, após obtida penetração pelo Ensaio Windsor

Figura 06.07 – Medição da propagação das ondas ultrassónicas em silhar inserido em vão da casa da Câmara

Figura 06.08 – Amostras 1 e 6 - silhares de construção do castelo

Figura 06.09 – Amostras 2 e 5 - silhares de construção do castelo

Figura 06.10 – Amostras 3 e 4 - silhares de construção do castelo

Figura 06.11 – Amostra 7 - silhar utilizado na reconstrução do castelo

Figura 06.12 – Recolha de provetes cilíndricos através de carotagem

Figura 06.13 – Provetes cilíndricos, depois de cortados e identificados para a realização dos diferentes ensaios

Figura 06.14 – Tipos de roturas após o ensaio de resistência à compressão uniaxial

Figura 06.15 – Preparação e soldadura dos cabos condutores

Figura 06.16 – Execução do ensaio de resistência de compressão uniaxial e aspeto da rotura

Figura 06.17 – Fragmentos de rocha para o ensaio (SLAKE) das amostras 2 e 4

Figura 06.18 – Fragmentos de rocha para o ensaio (SLAKE) das amostras 6 e 7

Figura 06.19 – Aspeto dos fragmentos das amostras 2 e 4 após o segundo-ciclo padrão

Figura 06.20 – Aspeto dos fragmentos das amostras 6 e 7 após o segundo-ciclo padrão

Figura 08.01 – Página de inserção de dados relativos ao projeto e número de patologias

Figura 08.02 – Página de inserção de dados relativos ao imóvel onde se irá proceder ao levantamento

Figura 08.03 – Layout da página de introdução do tipo de utilizador

Figura 08.04 – Layout da página de inserção de dados de um projeto

Figura 08.05 – Layout da página de inserção de dados relativos ao imóvel, tipologias e patologias

Figura 08.06 – Layout da página de visualização dos dados gerais de um projeto

Figura 08.07 – Layout da página de visualização dos dados específicos de uma patologia

Figura 08.08 – Layout da página de visualização dos resultados dos ensaios elaborados

Lista de Quadros

Quadro 01.01 – Estimativas efetuadas nas várias vertentes do mercado potencial de reabilitação

Quadro 01.02 – Origem, designação e dimensões dos provetes

Quadro 02.01 – Classificação de Rochas

Quadro 02.02 – Classificação das paredes dos edifícios antigos e dos muros antigos de acordo com a sua função

Quadro 02.03 – Designação das paredes dos edifícios antigos de acordo com a natureza, dimensão, grau de aparelho e material ligante das pedras

Quadro 03.01 – Causas e agentes de patologias não estruturais

Quadro 03.02 – Mecanismos e agentes promotores do decaimento da pedra

Quadro 03.03 – Caraterização dos padrões atribuídos às diferentes de patologias

Quadro 05.01 – Parâmetros e características dos granitos da região envolvente à área de estudo

Quadro 06.01 – Classificação dos danos causados por ensaios não totalmente não destrutivos

Quadro 06.02 – Principais inspeções e ensaios para intervenções estruturais em edifícios antigos

Quadro 06.03 – Valor mínimo, máximo, média e devido padrão estimado da resistência à compressão uniaxial (Martelo de Schimdt)

Quadro 06.04 – Valor mínimo, máximo, média e devido padrão estimado dos resultados do Martelo de Schimdt e o grau de alteraçãoQuadro

Quadro 06.05 – Valor mínimo, máximo, média e devido padrão dos valores estimados da resistência à compressão uniaxial (Pistola de Windsor)

Quadro 06.06 – Registo dos valores de velocidade de propagação dos ultra-sons

Quadro 06.07 – Origem, designação e dimensões dos provetes

Quadro 06.08 – Resumo dos valores da porosidade aberta, absorção de água e densidade aparente das amostra recolhidas

Quadro 06.09 – Resumo dos valores de velocidade de propagação dos ultra-sons nas diferentes amostras recolhidas

Quadro 06.10 – Resumo dos valores da resistência à compressão uniaxial **(σc)**, após ensaio nos provetes das diferentes amostras do castelo

Quadro 06.11 – Critério de durabilidade para rochas brandas a partir do segundo ciclo de desgaste em meio húmido, I_{d2} (%)

Quadro 06.12 – Classificação baseada num único ciclo de desgaste em meio húmido I_{d1} (%)

Quadro 06.13 – Classificação para a caracterização da alterabilidade das rochas com base em apenas um único ciclo de desgaste em meio húmido I_{d1}

Quadro 06.14 – Resultado de I_{d1} (%) e I_{d2} (%)

Quadro 06.15 – Classificação tendo em conta a durabilidade do material

Quadro 06.16 – Classificação tendo em conta a alterabilidade do material

Quadro 08.01 – Registos do ensaio realizado com o martelo de Schmidt

Quadro 08.02 – Registos do ensaio realizado com a Pistola de Windsor

Quadro 08.03 – Registos do ensaio de velocidade de Ultra-sons

Quadro 08.04 – Exemplo do quadro resumo dos ensaios elaborados
Quadro 08.05 – Exemplo de preenchimento do quadro resumo dos ensaios elaborados

Lista de Gráficos

Gráfico 01.01 – Peso da reabilitação residencial na produção total da construção (%)

Gráfico 01.02 – Evolução dos trabalhos de reabilitação

Gráfico 01.03 – Percentagens de trabalhos de reabilitação e de trabalhos novos entre 1990-2010 e 2011-2030

Gráfico 01.04 – Percentagens de trabalhos de reabilitação e de trabalhos novos entre 1990-2010 e 2011-2030

Gráfico 01.05 – Percentagens das diferentes áreas dentro do mercado de reabilitação

Gráfico 06.01 – Curvas tensão-deformação transversal (M0), dos diferentes provetes

Gráfico 06.02 – Curvas tensão-deformação transversal (M1), dos diferentes provetes

Gráfico 06.03 – Curvas tensão-deformação longitudinal (M2), dos diferentes provetes

Gráfico 06.04 – Curvas tensão-deformação longitudinal (M3), dos diferentes provetes

Gráfico 07.01 – Correlação entre a absorção de água e a porosidade aberta

Gráfico 07.02 – Correlação entre a absorção de água e a densidade aparente seca

Gráfico 07.03 – Correlação entre a porosidade aberta e a densidade aparente seca

Gráfico 07.04 – Resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial para cada provete

Gráfico 07.05 – Resultados do ensaio de propagação da velocidade de ultra-sons para cada provete

Gráfico 07.06 – Correlação entre os resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial e o ensaio de propagação da velocidade de ultra-sons

Gráfico 07.07 – Correlação entre os resultados obtidos do ensaio de resistência à compressão uniaxial e o ensaio de propagação da velocidade de ultra-sons

Gráfico 07.08 – Correlação entre os resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial e absorção de água

Gráfico 07.09 – Correlação entre os resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial e porosidade aberta

Gráfico 07.10 – Correlação entre os resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial e densidade aparente seca

Gráfico 07.11 – Correlação entre os resultados do ensaio da velocidade de ultra-sons e a absorção

Gráfico 07.12 – Correlação entre os resultados do ensaio da velocidade de ultra-sons e a porosidade

Gráfico 07.13 – Correlação entre os resultados do ensaio da velocidade de ultra-sons e a densidade aparente seca

Gráfico 07.14 – Relação entre os resultados do ensaio com recurso ao Martelo de Schmidt e ensaio com recurso à Pistola de Windsor

Gráfico 07.15 – Relação entre os resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial e ensaio com recurso ao martelo de Schmidt

Gráfico 07.16 – Correlação dos resultados da média dos valores obtidos no ensaio laboratorial de Velocidade de Ultra-Sons e a média dos valores estimados com recurso ao Martelo de Schimdt

Gráfico 07.17 – Correlação dos resultados da média dos valores obtidos no ensaio *"in situ"* de Velocidade de Ultra-Sons e a média dos valores estimados com recurso ao Martelo de Schimdt

Gráfico 07.18 – Comparação da tensão-deformação transversal (M1), das amostras analisadas

Gráfico 07.19 – Comparação da tensão-deformação longitudinal (M2), das amostras analisadas

Gráfico 07.20 – Comparação da tensão-deformação longitudinal (M3), das amostras analisadas

Gráfico 08.01 – Correlação dos resultados do ensaio de com recurso à Pistola de Windsor e com recurso ao Martelo de Schmidt

Gráfico 08.02 – Correlação dos resultados do ensaio de Velocidade de Ultra-sons e com recurso ao Martelo de Schmidt

Gráfico 08.03 – Correlação dos resultados do ensaio de Velocidade de Ultra-sons e o ensaio com recurso à Pistola de Windsor

Lista de Acrónimos

AECOPS	Associação de Empresas de Construção Obras Públicas e Serviços
EDTA	Ácido Etilenodiamino Tetra-Acético
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FIEC	Federação da Indústria Europeia da Construção
INETI	Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação. I.P.
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia. I.P.
I.P.	Instituto Público
MS	Martelo de Schmidt
PW	Pistola de Windsor
US	Ultra-Sons
UBI	Universidade da Beira Interior
IIP	Imóvel de Interesse Público
IIM	Imóvel de Interesse Municipal
MIP	Monumento de Interesse Público
MIM	Monumento de Interesse Municipal
MN	Monumento Nacional
ZEP	Zona Especial de Proteção
UBI	Universidade da Beira Interior

1 - Introdução

1.1 - Enquadramento do tema

A reabilitação de edifícios é uma atividade em franca expansão, tanto pela crescente preocupação cultural na manutenção e recuperação deste tipo de edifícios, como pela quantidade de edifícios antigos com necessidades urgentes de intervenção. Embora nos últimos anos, se tenha verificado um aumento, ou uma maior aposta, nas intervenções de reabilitação, não deixa de ser verdade que Portugal, se encontra na cauda da Europa, no que a este aspeto se refere, como se pode observar no gráfico 01.01. Pelos dados fornecidos pelo relatório produzido pela AECOPS (Associação de Empresas de Construção Obras Públicas e Serviços, 2009), tendo como base os dados apurados pela FIEC (Federação da Indústria Europeia da Construção), *"o país em que o volume de produção de trabalhos de reabilitação de edifícios residenciais tem maior peso na produção total da construção é a Alemanha, onde aqueles trabalhos deverão representar cerca de 32% do total. Seguem-se a Itália e a Finlândia, com cerca de 29% e de 26% da produção com origem neste tipo de trabalhos, respectivamente.*

Portugal faz parte do grupo de países nos quais os trabalhos de reabilitação de edifícios residenciais têm menor peso na produção total da construção, com um rácio de 6,2%. Pior do que Portugal, neste ranking, só a Roménia."

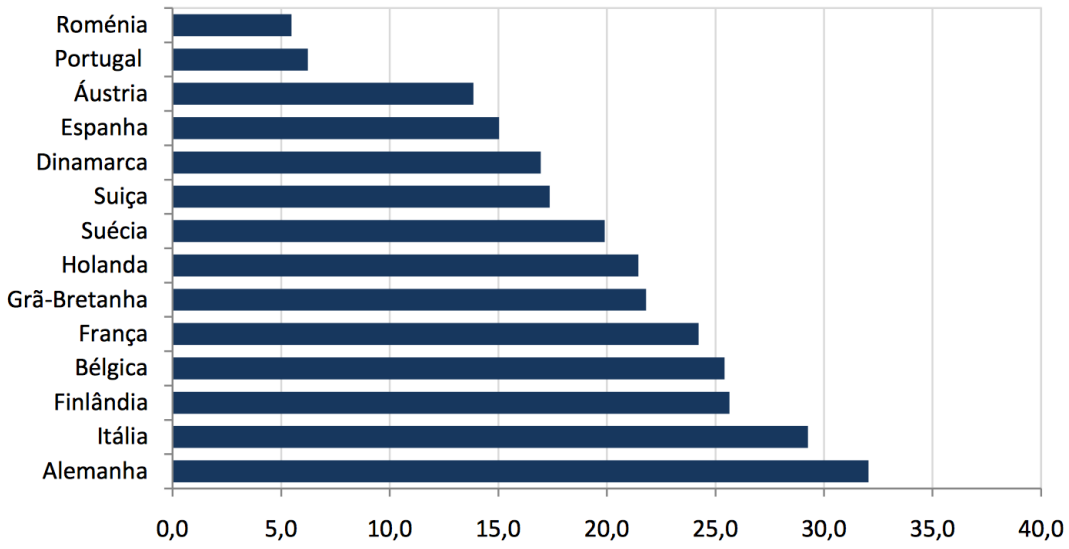


Gráfico 01.01 - Peso da reabilitação residencial na produção total da construção (%) (AECOPS, 2009)

No caso específico da reabilitação do Património Monumental, o mesmo estudo (AECOPS, 2009, p.28) refere que *"O património monumental existente em Portugal é outro dos*

segmentos cuja inventariação é deficiente, tornando por conseguinte muito difícil a percepção da sua real dimensão.

Segundo o estudo, "Forrehabil", Leonardo da Vinci, publicado em 1998, sobre o mercado de reabilitação de todo o património edificado em Portugal, o nosso património monumental é constituído por mais de 1200 conjuntos arrolados como Monumentos Nacionais e de Interesse Público, Valor Concelhio e em Vias de Classificação.

Assumindo que nos últimos dez anos não houve alterações significativas no número de elementos que constituem este acervo de património classificado e que o nível de reabilitação exigido se manteve, estima-se que o valor do mercado de reabilitação neste segmento ascenda a 30,6 mil milhões de euros a preços de 2008."

Como se pode observar no quadro 01.01, o mercado potencial para a área da reabilitação de Património Monumental, encontra-se em 3.º lugar em cerca de 19% do total dos aproximadamente 160 mil milhões de euros do mercado potencial.

Quadro 01.01 - Estimativas efetuadas nas várias vertentes do mercado potencial de reabilitação (AECOPS, 2009)

Mercado Potencial	
Edifícios Residenciais	74 617,0
Edifícios Não Residenciais	
Privados	26 716,0
Públicos	5 799,1
Património Monumental	30 600,0
Rede Rodoviária	6 724,3
Pontes	1 600,5
Rede Ferroviária	604,5
Portos	271,3
Redes de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais	2 149,1
Eficiência Energética	10 486,0
Total	159 567,8

(Unidades: milhões de Euros)

Partindo-se da premissa que para satisfazer as necessidades de reabilitação, o peso na economia do setor da construção vai aumentando progressivamente indo de encontro à média europeia (cerca de 6%), que terá um impacto no crescimento do Produto Interno Bruto de 0,5% acima do seu crescimento potencial e que o volume de construção nova vai diminuindo,

então serão necessários cerca de 20 anos para satisfazer o *stock* estimado (gráfico 01.02 a gráfico 01.04).

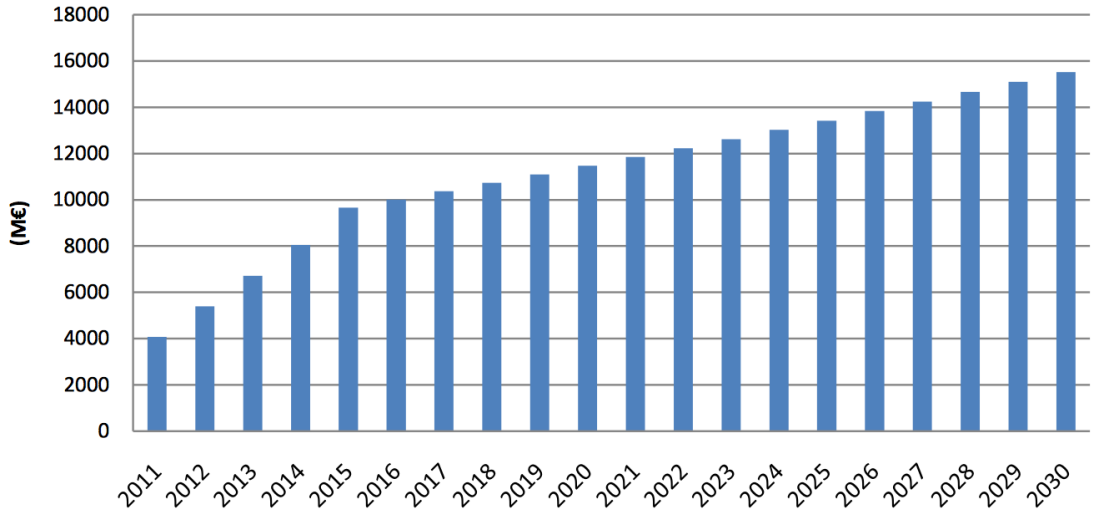
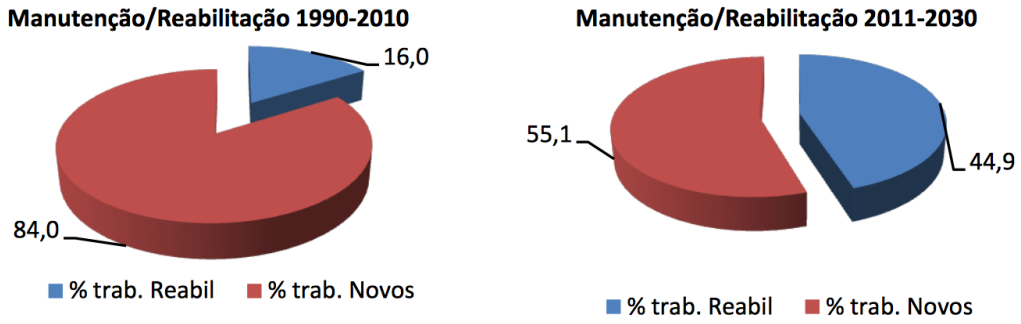


Gráfico 01.02 - Evolução dos trabalhos de reabilitação (AECOPS, 2009)



Fontes: FIEC e AECOPS

Gráficos 01.03 e 01.04 - Percentagens de trabalhos de reabilitação e de trabalhos novos entre 1990-2010 e 2011-2030 (AECOPS, 2009)

Segundo o estudo e, se forem criadas todas as condições, os trabalhos de reabilitação poderão representar cerca de 45% do valor global da produção da construção em Portugal, situação que nos colocará nos padrões médios dos restantes países europeus.

E como se pode observar no gráfico 01.05, a componente do Património Monumental, ocupa 19% do mercado de reabilitação, sendo uma "fatia" significativa a ter em conta.

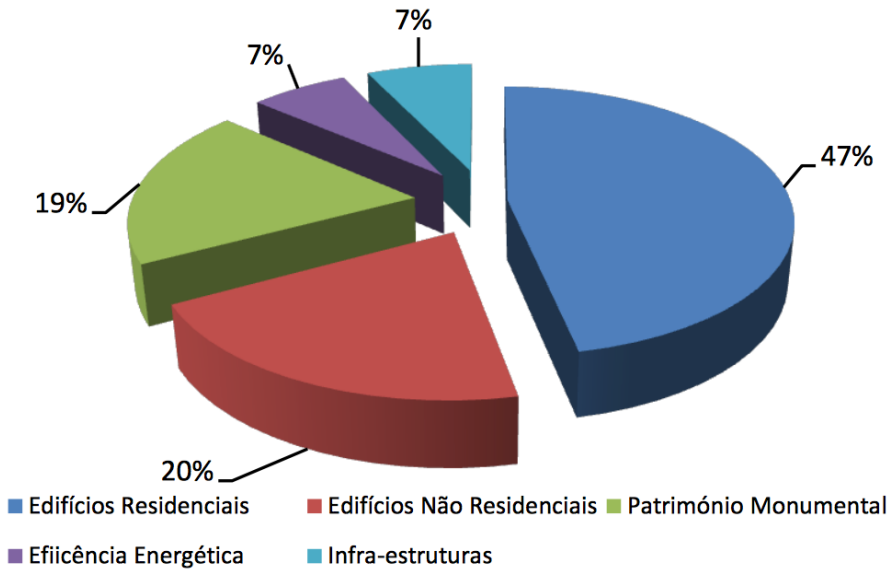


Gráfico 01.05 - Percentagens das diferentes áreas dentro do mercado de reabilitação (AECOPS, 2009)

A reabilitação, principalmente em edifícios históricos, e respeitando todas as cartas, normas e convenções internacionais, é uma atividade que envolve para o promotor encargos económicos bastante elevados, comparativamente com as técnicas usuais de construção, o que não poderá ser de outra forma, uma vez que se trata de tipologias de intervenção completamente diferentes. Segundo Henriques (2005), embora no nosso País seja vulgarmente considerado que a intervenção num edifício histórico obedece aos mesmos conceitos de qualidade aplicados na indústria da construção em geral, sem lhe ser reconhecida qualquer especificidade resultante. Este tipo de abordagem é claramente errada por serem radicalmente diferentes não só os fins a atingir como os meios a alcançar.

Em grande parte dos documentos que se referem ao setor da construção, as intervenções em edifícios históricos e/ou antigos vêm definidas como "reabilitação", termo muitas vezes usado incorretamente, pelo que se julga oportuno definir ou fixar uma terminologia própria e inequívoca, a qual possa ser usada de uma forma clara por todos os que se dediquem a essa atividade. Para Henriques (2005, p.3) "*a reabilitação é o conjunto de operações destinado a aumentar os níveis de qualidade dum edifício, por forma a atingir a conformidade com exigências funcionais mais severas do que aquelas para os quais o edifício foi concebido. A reabilitação é utilizada sempre que se pretenda adaptar o edifício para uma utilização diferente daquela para que foi concebido ou, simplesmente, torná-lo utilizável de acordo com os padrões actuais*". Pode afirmar-se que, pela citação referida, muitas intervenções realizadas e divulgadas não têm esse propósito, não havendo qualquer distinção do nível de intervenção. Para haver uma intervenção de reabilitação, pressupõe-se que o edifício se encontre com situações patológicas graves, necessitando de intervenções de fundo.

Assim, a reabilitação é uma das etapas de conservação, onde se podem incluir ainda a manutenção, a reparação, o restauro e a reconstrução.

A aposta na conservação dos edifícios, antes de estes necessitarem de uma intervenção de reabilitação profunda de grandes encargos financeiros, seria uma mais valia, tanto para os próprios edifícios como para os seus promotores. Sendo a maioria dos edifícios históricos (monumentos) constituídos essencialmente por pedra, pelo menos na sua parte estrutural, a qual suporta todos os outros elementos, a conservação dos materiais pétreos torna-se essencial para o sucesso de todas as outras intervenções realizadas, ou mesmo para a não intervenção em outros elementos.

Em muitas das intervenções realizadas, não é dada importância ao tipo de patologia detetada, nem mesmo se questiona como essa patologia ocorreu, ou seja, poucas vezes se pondera quais os fenómenos que ocorreram para que algo de anómalo se tivesse desenvolvido pondo, nalguns casos e a curto prazo, em risco uma estrutura de vários séculos.

Não se conhecendo a anomalia do material pétreo, muito dificilmente se poderá definir uma técnica ou metodologia adequada para a intervenção, adoptando-se muitas vezes soluções de fácil execução, com aplicação de materiais e técnicas usuais na construção civil moderna, não respeitando minimamente as convenções e cartas internacionais de conservação dos Monumentos e dos Sítios, onde a principal preocupação da intervenção é o resultado estético final, pondo em risco a estabilidade, durabilidade, bem como, a integridade física e histórica de um monumento.

Uma situação muito comum e preocupante é o modo como se procede ao levantamento e análise das patologias ou anomalias detectadas num certo monumento ou nos seus materiais constituintes. O levantamento das patologias detetadas, irá condicionar todo o projeto de reabilitação e consequentemente a sua execução e custos associados, pelo que se julga de extrema importância reduzir a subjectividade desta etapa, e não deixar ao critério de uma única pessoa ou entidade que se desloca ao local, muitas vezes sem conhecimentos técnicos para o efeito, a responsabilidade de dar início a um processo que, normalmente, envolve muitos milhares de euros.

Convém realçar que o tempo de vida de um edifício histórico é indeterminado, podendo atingir as centenas de anos. As intervenções a realizar terão, por isso, que ter em conta que o edifício já está construído há centenas de anos e é destinado a durar pelo menos outros tantos, assim sendo, toda e qualquer tipo de intervenção deverá ter em conta que todas as

técnicas e materiais a utilizar devem ter um carácter de reversibilidade e tendo como princípio que, o património não é propriedade exclusiva das gerações que vivam numa dada época, mas também de todas as gerações seguintes, as quais têm o dever e a obrigação de o cuidar tão bem quanto for possível.

Ao longo dos anos foram publicadas diversas cartas e convenções internacionais para salvaguarda do património, com o intuito de tentar normalizar as metodologias de intervenção, ou pelo menos, minimizar a discrepância de atitudes face a intervenções a realizar no património construído e histórico. De entre os vários documentos salientam-se: Carta de Atenas (1931) – "Carta para o Restauro de Monumentos Históricos"; Carta de Veneza (1964) – "Carta Internacional sobre Conservação e Restauro dos Monumentos e dos Sítios"; Carta Italiana de Restauro (1972); Carta Europeia de Património Arquitectónico (1975); Carta de Conservação para a Salvaguarda do Património Arquitectónico Europeu (1985); Carta de Conservação e Restauro de Objectos de Arte e Culturais (1987); Critérios e métodos para o Restauro dos Bens Culturais Imóveis (1991); Carta de Vera Cruz (1992) – "Critérios para a política de actuação nos Centros Históricos da América Latina " e Carta de Cracóvia (2000) – "Princípios para a Conservação e Restauro de Património Construído".

No panorama atual, pelo menos nos países que têm a carta de Veneza como referência, existe uma certa uniformidade no que se refere à ética da conservação. Em termos gerais e, segundo Feilden (1982), esta carta poderá ser sintetizada da seguinte forma:

a) Ações de conservação:

   - O estado do edifício, antes de sofrer qualquer intervenção, bem como todos os materiais e tecnologias utilizados na sua conservação, devem ser objecto de registo detalhado, tão completo quanto possível;
   - As evidências históricas patentes num dado edifício não devem ser removidas, adulteradas ou destruídas;
   - Qualquer acção de conservação deve ser pautada pela regra do mínimo de intervenções possível para tornar essa acção eficaz, e pela utilização das intervenções de menor envergadura;
   - Deve garantir o respeito pelos valores estéticos e históricos do edifício e assegurar a sua integridade física.

b) As várias intervenções englobadas numa acção de conservação, devem obedecer aos seguintes requisitos:

   - Ser reversíveis ou, pelo menos, não comprometer futuras intervenções;
   - Permitir o eventual acesso futuro a todas as evidências históricas não visíveis existentes no edifício;

- Permitir a salvaguarda da maior quantidade possível de materiais originais;
- Utilizar materiais compatíveis com os existentes, designadamente em termos de características físicas, químicas e mecânicas, e harmónicos em termos de cor e textura, sem que possam ser confundidos com os materiais originais quando observados de perto;
- Ser conduzidas por especialistas nos respectivos domínios, enquadrados por um especialista em conservação.

Intervir num edifício histórico, usando técnicas e metodologias que respeitem todos os requisitos das cartas e convenções internacionais, só será possível se se conhecer em profundidade as características dos seus materiais constituintes. Para um material ser conservado, ou em último caso substituído, será fundamental caracterizá-lo no que diz respeito às suas propriedades físicas e mecânicas. Características como porosidade, permeabilidade, massa volúmica, condutibilidade térmica, módulo de elasticidade, resistências mecânicas, entre outras, deverão ser ponderadas antes da remoção de um material ou antes da aplicação de um material de substituição.

Uma vez que o presente trabalho diz respeito à conservação da pedra natural e, muito especificamente, à aplicada em monumentos, julga-se relevante, para melhor se perceber os restantes capítulos, descrever de uma forma sucinta alguns conceitos que, muitas vezes não têm a mesma interpretação pelos diferentes autores na área da conservação dos edifícios históricos.

Dos vários autores consultados, optou-se por aplicar neste trabalho os conceitos referenciados por Henriques (2005), os quais se passam a descrever sumariamente:

Conservação

O termo "*conservação*" engloba todo o conjunto de acções destinadas a prolongar o tempo de vida duma dada edificação histórica. Trata-se de uma designação de espectro alargado que pode englobar um ou vários conceitos (manutenção, reparação, restauro, reabilitação e reconstrução).

Manutenção

"*Manutenção*" é o conjunto de operações preventivas destinadas a manter em bom funcionamento, quer uma edificação como um todo, quer cada uma das suas partes constituintes. Inclui-se sob esta designação um vasto conjunto de operações, como por

exemplo inspecções de rotina, limpeza e aplicação de pinturas novas. Uma manutenção eficaz impede a ocorrência da maior parte das grandes anomalias nas edificações.

Reparação

Designa-se por "*reparação*" o conjunto de operações destinadas a corrigir anomalias existentes por forma a manter a edificação no estado em que se encontrava antes da ocorrência dessas patologias. Quando as anomalias são de carácter estrutural o termo "consolidação" é muitas vezes utilizado para traduzir a ideia de reparação no sentido da manutenção da integridade estrutural da edificação.

Restauro

O conceito de "*restauro*" traduz o conjunto de operações destinadas a restabelecer a unidade da edificação do ponto de vista da sua concepção e legibilidade originais, ou relativa a uma dada época ou conjunto de épocas. Trata-se de um tipo de acção com algumas dificuldades éticas, que deve ser baseado, em investigações e análises históricas inquestionáveis e utilizar materiais que permitam distinção clara, quando observados de perto, entre original e não-original.

Reabilitação

"*Reabilitação*" é o conjunto de operações destinado a aumentar os níveis de qualidade dum edifício, por forma a atingir a conformidade com exigências funcionais mais severas do que aquelas para as quais o edifício foi concebido. A reabilitação é utilizada sempre que se pretenda adaptar o edifício para uma utilização diferente daquela para que foi concebido ou, simplesmente, torná-lo utilizável de acordo com os padrões actuais.

Reconstrução

"*Reconstrução*" é, conforme o próprio nome indica, a acção de construir de novo uma edificação, ou parte dela, que se encontre destruída ou em risco de destruição. Este tipo de acção pode ser aceitável em casos especiais, designadamente os seguintes:

- edificações destruídas por cataclismos;
- edificações que estejam em eminência de ser destruídas, caso em que poderão ser desmontadas e transportadas para local seguro;
- ruínas arqueológicas, dentro dos limites fixados pelo conceito de *anastylosis*.

Reversibilidade

Designa-se por "*reversibilidade*" a possibilidade de um dado material ou solução construtiva poderem ser removidos no final da sua vida útil sem causar danos aos restantes materiais que com eles contactem. Trata-se de um princípio fundamental na conservação de edificações históricas sempre que se pretenda aplicar qualquer material novo, na medida em que ele deve poder ser retirado no futuro, quando deixar de cumprir as respectivas funções, sem causar danos aos materiais originais e sem contribuir para a perda da autenticidade da obra que se pretenda conservar.

Anastylosis

"*Anastylosis*" é o termo de origem grega que significa remontagem de peças duma dada estrutura que existam num estado de degradação. Em geral aplica-se a ruínas arqueológicas, com várias possibilidades como, por exemplo, a reconstituição duma coluna de pedra a partir dos seus elementos constituintes que se encontram dispersos. Este tipo de actuação pode ser efectuada apenas em situações em que existam evidências indiscutíveis, quer históricas, quer resultantes da observação das várias peças soltas, devendo terminar no ponto em que essas evidências deixem de existir e se entre no terreno das conjecturas.

Reintegração

A forma mais usual de ultrapassar o problema das lacunas, com especial incidência em operações de anastylosis, é o seu preenchimento com materiais novos que permitam uma integração harmoniosa no conjunto e possibilitem, simultaneamente, ser claramente reconhecíveis como actuações efectuadas numa dada época, quando observados de perto. A este tipo de operações é designado por "*reintegração*".

1.2 - Objetivos

Pelo que já foi referido anteriormente, um "diagnóstico" errado, terá inevitavelmente, como consequência um "prognóstico" inadequado e a "doença" manter-se-á, ou na maioria das situações, agravar-se-á. Uma ação de conservação poderá trazer consequências irreversíveis para os edifícios como para os seus materiais constituintes, pelo que, um dos principais objetivos deste trabalho é o de elaborar uma metodologia para minimizar a subjetividade dos levantamentos das patologias existentes em elementos pétreos de edifícios antigos, uma vez que, esta será a base para a escolha da técnica ou metodologia de intervenção mais adequada.

Face ao exposto, o principal objetivo deste trabalho é o de criar uma nova metodologia de análise, levantamento e intervenção em patologias de pedras naturais, com apoio de uma aplicação informática de utilização fácil, expedita e intuitiva e que consiga reduzir a subjectividade na recolha de elementos (levantamento) para uma futura intervenção, através de introdução de dados objetivos, independentemente da formação ou sensibilidade da pessoa que os insere. Pretende-se, igualmente, minimizar as intervenções de reabilitação, intervindo num estágio anterior, com algumas ações de manutenção, reparação ou restauro.

Em várias áreas da construção, existe uma simbologia própria e normalizada, de extrema importância, para o bom entendimento projetual entre os diversos intervenientes. Na conservação de edifícios em pedra, torna-se igualmente necessária a implementação de uma linguagem comum entre os vários profissionais da área, pelo que este trabalho tem o objetivo de propor uma simbologia gráfica para cada tipo de patologia descrita, podendo posteriormente, ser utilizada nos projetos da especialidade. São criados padrões, que ilustram situações patológicas, subdivididos por graus de gravidade, o que levará a um levantamento mais objetivo e rigoroso sempre que seja necessária a sua recolha no campo.

Uma vez que serão realizados vários tipos de ensaios expeditos *"in-situ"*, os quais serão, posteriormente, validados por ensaios laboratoriais, pretende-se igualmente, verificar quais dos valores estimados dos ensaios realizados em campo, que melhor se correlacionam com os valores obtidos através dos ensaios realizados em laboratório, por forma a perceber qual o tipo de ensaio mais adequado à recolha de dados "*in-situ*", para o tipo de rocha em questão.

1.3 - Metodologia

Por forma a cumprir os objetivos propostos no presente trabalho, desenvolveu-se a seguinte metodologia:

- Recolha de toda a informação sobre tipologias de paredes em pedra natural;
- Inventariação e descrição dos mecanismos e agentes causadores de decaimentos nas rochas constituintes dos monumentos, bem como, dos tipos de patologias que, normalmente, neles ocorrem;
- Descrição e análise das metodologias de intervenção utilizadas e suas consequências;
- Trabalhos de campo – caso do Castelo de Marialva;
- Caracterização e análise das patologias no caso do Castelo de Marialva;
- Realização de ensaios "*in situ*", não destrutivos e de ensaios laboratoriais;
- Análise dos resultados obtidos nos diferentes tipos de ensaios;
- Elaboração da aplicação informática de análise e apoio ao diagnóstico de patologias em materiais pétreos.

1.3.1 – Tipologias de paredes em pedra natural

Embora as pedras sejam a parte constituinte de uma estrutura de um edifício antigo ou de um monumento, terá que se ter em atenção como estas estão inseridas na sua constituição. Para tal, foi recolhida toda a informação sobre a classificação tipológica, tipo de assentamento e de aparelho mais comuns neste tipo de edifícios. Esta informação será usada pela aplicação informática a desenvolver.

1.3.2 - Mecanismos e agentes causadores de decaimentos nas rochas e suas patologias

Por forma a intervir num dado monumento, importa perceber o que deu origem a uma dada situação patológica, pelo que se inventaria e carateriza os principais mecanismos e agentes causadores de decaimentos nas rochas, que de uma forma geral se podem resumir em três tipos: químicos, físicos e biológicos.

Muitas são as patologias ou degradações (decaimentos) que afetam os materiais pétreos dos nossos monumentos e edifícios antigos, pelo que foi reunida toda a informação sobre as principais patologias que neles ocorrem. No presente caso foram descritas e ilustradas 35 tipos de patologias que normalmente ocorrem nos materiais pétreos dos nossos monumentos.

Sendo um dos objetivos deste trabalho a criação de uma simbologia gráfica para cada tipo de patologia descrita, são apresentados os "padrões" divididos por três níveis de gravidade, onde se optou por manter a forma, alterando-se a cor consoante a situação verificada. Estes níveis serão, meramente indicativos, para uma melhor perceção da dimensão/gravidade da patologia indicada.
Havendo, muitas vezes, a necessidade de realizar impressões monocromáticas, a escala da simbologia também foi alterada para os diferentes níveis de gravidade dentro de cada situação patológica, podendo-se distinguir as formas sempre associadas à parte escrita da legenda.

1.3.3 - Metodologias de intervenção utilizadas e suas consequências

Muitos são os casos no nosso País, em que uma pequena intervenção de estabilidade, refechamento de juntas, ou mesmo uma simples limpeza de silhares, acarreta a curto prazo uma intervenção de grandes dimensões. Pelo que, se descreve e analisa os principais métodos de intervenção na conservação dos materiais pétreos e suas consequências para os edifícios. Os métodos referidos dizem respeito a tipos e técnicas de limpezas, consolidação e de proteção dos materiais pétreos.

Não é objetivo, validar cientificamente todas as metodologias apresentadas, o que seria um trabalho para várias equipas de investigação ao longo de vários anos, mas sim, com base em produção científica já elaborada, recolher as conclusões geradas, analisá-las e adaptá-las mediante os dados recolhidos pela aplicação a ser criada no decorrer deste trabalho.

1.3.4 - Trabalhos de campo – caso do Castelo de Marialva

No desenvolvimento do trabalho, torna-se necessário recolher toda a informação considerada relevante sobre o caso em estudo, principalmente no que diz respeito à geologia da região.

Os trabalhos de campo têm como objetivo a realização de um levantamento fotográfico e fotogramétrico de todo o Castelo de Marialva, que servirá de base à realização dos alçados com recurso a um software vectorial (Autocad).

1.3.5 - Patologias no Castelo de Marialva

Com o inventário das principais patologias existentes e com os trabalhos de campo efetuados, realizou-se uma descrição, caracterização e análise das principais patologias existentes no Castelo de Marialva, bem como, das últimas intervenções realizadas e suas consequências. Foi criado um modelo de levantamento e apresentação das patologias existentes nas várias zonas do castelo, recorrendo à simbologia gráfica elaborada. Como se pode observar no exemplo seguinte (figura 01.01), correspondente ao alçado Este da Torre de Menagem do Castelo, as patologias detetadas, estão devidamente legendadas e referenciadas no levantamento elaborado através de fotogrametria.

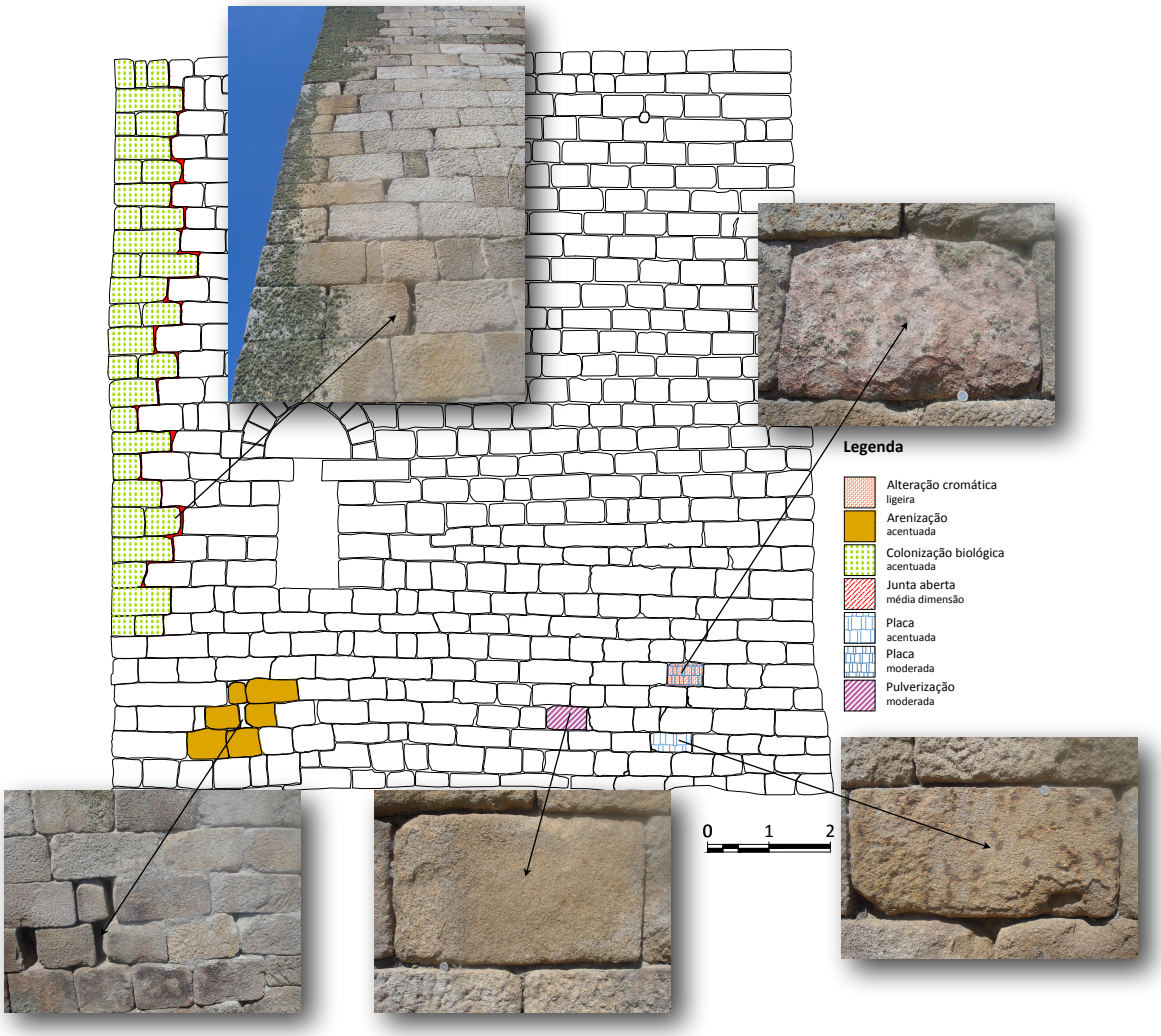


Figura 01.01 - Patologias verificadas no alçado Este da Torre de Menagem

1.3.6 - Ensaios "*in situ*", não destrutivos e ensaios laboratoriais

Em monumentos classificados, os ensaios não destrutivos têm uma grande relevância na caracterização dos materiais pétreos que os constituem, visto que, normalmente não é possível a recolha de amostras para a realização de ensaios laboratoriais. Com estes ensaios, pretende-se obter valores estimados das resistências dos materiais pétreos, constituintes das estruturas do castelo.

Uma vez que, na caracterização dos materiais com recurso a ensaios "*in situ*" (Martelo de Schimdt, Pistola de Windsor e Ultra-sons), os valores obtidos são estimados por ábacos, expressões ou tabelas, sempre que possível, recorreu-se a ensaios laboratoriais por forma a aferir os resultados obtidos no campo.

No presente caso de estudo, devido às várias derrocadas e reconstruções nos últimos anos, recolheu-se para laboratório sete amostras representativas dos silhares que constituem os paramentos do castelo, retirados da zona da torre de menagem e sua muralha envolvente, bem como, de diferentes zonas das muralhas exteriores.

A escolha das amostras, teve por base o conhecimento pessoal das zonas derrocadas e das diferentes intervenções realizadas nos últimos anos.

Os silhares designados por "amostras 1 e 6" são provenientes da base da muralha envolvente da torre de menagem, os quais estiveram, durante o seu uso, em contato com o solo e consequentemente com águas superficiais e subterrâneas, além dos esforços de compressão a que foram sujeitos no suporte do restante paramento. As "amostras 2 e 5" foram retiradas do mesmo pano de muralha das anteriores (muralha envolvente da torre de menagem), mas de uma zona perto do coroamento da muralha. A "amostra 3" é proveniente de um cunhal de muralha reconstruído em 2004 e não usado na intervenção. Dos paramentos exteriores foi retirada igualmente a "amostra 4", junto da porta do Anjo da Guarda, também esta intervencionada no ano de 2004. Por último, foi transportado para laboratório, um silhar sobrante da última intervenção, o qual não era original da construção do castelo, mas adquirido para preencher lacunas das várias derrocadas, a que se deu a designação de "amostra 7".

Após a carotagem, o material retirado foi cortado em dimensões apropriadas para a realização dos ensaios propostos. Das 7 amostras recolhidas, obtiveram-se 71 provetes conforme se pode observar no quadro 01.02.

Quadro 01.02 – Origem, designação e dimensões dos provetes

Origem		Quantidade de Provetes	Designação	Dimensões
Marialva	Amostra 1	5	A1-i	5 x 110x54
	Amostra 2	11	A2-i	12 x 139x54
	Amostra 3	5	A3-i	4 x 139x54 + 1 x 110x49
	Amostra 4	14	A4-i	14 x 139x54
	Amostra 5	13	A5-i	13 x 100x49
	Amostra 6	5	A6-i	5 x 100x49
	Amostra 7	18	A7-i	13 x 100x49 + 5 x 125x49

Em que:

i - numeração atribuída a cada provete

1.3.7 - Resultados obtidos

Posteriormente à realização dos ensaios "*in situ*" e laboratoriais, torna-se fundamental comparar e/ou relacionar e/ou correlacionar todos os resultados, por forma a se poder retirar o maior número possível de conclusões sobre as propriedades dos materiais ensaiados e, tentar averiguar qual dos ensaios expeditos realizados confere resultados estimados mais adequados para o tipo de rocha em questão. Para tal foram elaborados vários gráficos onde se correlacionam os valores dos diferentes ensaios, permitindo validar os resultados obtidos *"in-situ"*.

1.3.8 - Aplicação informática de análise e apoio ao diagnóstico de patologias em materiais pétreos

A caracterização dos matérias pétreos e o levantamento das patologias existentes são elementos fundamentais para uma correta e eficaz intervenção de conservação. Para tal elaborou-se uma aplicação informática com o intuito de eliminar, ou pelo menos minimizar, o grau de subjectividade associado a essa tarefa. Esta aplicação dará, de uma forma fácil e intuitiva, resposta a um conjunto de questões sobre a situação patológica que está a observar.

Para além do que já foi referido sobre a aplicação, esta consegue ainda elaborar pequenos cálculos, gerar tabelas e gráficos, necessários para boa interpretação dos dados recolhidos, com base nos ensaios realizados e está desenvolvida para edifícios, exclusivamente, constituídos em pedra natural e testada nos granitos existentes no caso de estudo (castelo de Marialva).

1.4 - Estrutura

Além do presente capítulo, este trabalho é constituído por mais nove, em que no capítulo 2, são caracterizadas as tipologias usuais de aparelho, assentamento e de transformação da pedra natural em construções antigas e mais especificamente em monumentos.

Sendo a pedra o elemento fundamental deste tipo de edifícios, no capítulo 3, descrevem-se as principais patologias que normalmente ocorrem em monumentos, os seus mecanismos e agentes (tipo de pedra, fatores climáticos, físicos, químicos e microbiológicos), bem como, as suas principais causas de deterioração (acção da água, da atmosfera, dos (micro)organismos, do homem e dos desastres naturais).

No capítulo 4, além da apresentação das principais cartas, convenções e recomendações nacionais e internacionais, descrever-se-ão os principais métodos de conservação e restauro de pedras em monumentos, no que diz respeito a limpeza, consolidação, protecção, colagem, reparação e substituição de materiais pétreos.

Com base nas patologias descritas, realizar-se-á no capítulo 5 o levantamento visual das patologias existentes no Castelo de Marialva (caso de estudo), com a caracterização da sua tipologia e indicação da sua localização. Neste capítulo, e visto se terem acompanhado várias intervenções realizadas neste monumento nos últimos anos, descreve-se igualmente, as metodologias de intervenção adoptadas em cada troço de muralha e as suas consequências.

Depois de efetuado o levantamento das patologias existentes, serão descritos no capítulo 6, os ensaios expeditos realizados "*in situ*". Tratando-se de um monumento classificado como Monumento Nacional, os ensaios realizados no local terão de ser obrigatoriamente não destrutivos, ou pelo menos, reduzidamente destrutivos. Os tipos de ensaios executados, bem como os seus resultados, serão descritos no desenvolvimento do presente trabalho.

Durante os trabalhos de campo foram recolhidas algumas amostras de silhares existentes no local. Os materiais recolhidos serão utilizados para a realização de ensaios laboratoriais, os quais virão a ser descritos no capítulo 6. Pretende-se analisar amostras de silhares originais da construção do Castelo, bem como, silhares usados nas últimas intervenções realizadas. O principal intuito deste capítulo é o de identificar as propriedades físicas e mecânicas das amostras, por métodos que não necessitem de laboratórios específicos, o que acarretaria um custo de realização algo elevado. Pelos métodos usados, os ensaios poderão ser realizados em laboratórios inseridos nas universidades ou politécnicos localizados na região do monumento

em causa, reduzindo assim alguns custos relacionados com equipamentos de ensaio específicos e de difícil aquisição.

Com os resultados obtidos através dos ensaios "*in situ*" e laboratoriais, no capítulo 7 apresentar-se-ão e analisar-se-ão os resultados de toda a investigação realizada, com base em relações, correlações e comparações entre os dados obtidos nos diferentes ensaios. Pretende-se comprovar se existem relações entre os diferentes ensaios realizados, bem como, determinar as propriedades físicas das rochas analisadas, por forma a escolher a melhor técnica e/ou metodologia de conservação dos diferentes elementos.

No capítulo 8, será elaborada, descrita e exemplificada a aplicação informática de análise e apoio ao diagnóstico de patologias em materiais pétreos, tendo como base toda a informação retirada do caso de estudo.

No capítulo 9 serão apresentadas as conclusões finais deste trabalho, assim como, algumas sugestões para desenvolvimento futuro de outros trabalhos, relacionados com o tema abordado.

2 – Classificação tipológica de pedras naturais em alvenarias

Os edifícios antigos que chegaram até aos nossos dias, são constituídos por paredes que poderão ser em pedra, tijolos, blocos, ou outros elementos, mas isoladamente ou em conjunto, constituem uma estrutura resistente ou não, à qual se designa por alvenaria. Para melhor se entender as patologias que normalmente ocorrem nos materiais pétreos, importa referir em que contexto essas pedras estão inseridas (Roque, 2002).

A construção de alvenarias exigiu desde sempre regras de execução que residem no conhecimento do funcionamento estrutural global, de modo a garantir a sua resistência ao longo do tempo (Castro, 1984).

Segundo Roque (2002), entende-se por "alvenaria" a associação de um conjunto de unidades de alvenaria (tijolos, blocos, pedras, etc.) e, geralmente, argamassa, que possui propriedades mecânicas intrínsecas capazes de constituir elementos estruturais. Em alvenarias antigas, os materiais utilizados para unidades de alvenaria eram, vulgarmente, a pedra ou o tijolo cerâmico, eventualmente reforçados com estrutura interna de madeira. O uso de argamassa, ou material ligante, entre as unidades estava dependente do tipo de alvenaria.

As alvenarias de pedra (Roque, 2002) têm uma diversificada constituição interna, dependente da época, dos costumes e do local de construção. São caraterizadas por uma grande irregularidade geométrica e falta de homogeneidade material, resultado da diversidade de caraterísticas (físicas, mecânicas e geométricas) dos materiais utilizados.

Os princípios fundamentais que devem ser respeitados na construção de uma alvenaria de pedra são: a boa arrumação das pedras, constituindo camadas o mais coesas e horizontais possíveis, sem juntas descontínuas na vertical, máximo sentido superficial possível entre elementos, sem descurar o travamento da parede nas esquinas, podendo ou não fazer uso de argamassas.

Sendo a pedra considerada, entre outros materiais, o mais nobre e resistente na constituição de paredes de alvenaria, o quadro 02.01 mostra uma classificação dos diferentes tipos de rochas.

Quadro 02.01 – Classificação de Rochas (adaptado de Branco, 1981)

Origem	Tipo	Densidade	Resistência kg/cm^2	Aderência da argamassa
Ígnea	Granito	2,5 a 3,0	1500 a 2700	Muito boa
	Basalto	2,8 a 3,3	3000	Má
	Meláfiro	2,8 a 3,0	1800	Aceitável
	Tufo	0,6 a 1,7	35 a 600	Má
Sedimentar	Calcário	1,8 a 2,6	600 a 1500	Variável, de muito boa a má
	Brecha	1,8 a 2,7	800 a 1700	Variável, de boa a má
	Arenito		300 a 2700	Variável, de boa a má
Metamórfica	Mármore	2,4 a 2,8	1100 a 1800	Boa
	Xisto	2,5 a 3,0	800 a 1300	Má

As pedras utilizadas podem ser de diversa natureza (ígneas, metamórficas ou sedimentares), forma e dimensão, regulares e irregulares, e podem apresentar-se ligadas com terra, argila, substâncias orgânicas ou argamassas, em geral, de fraca qualidade e que raramente envolvem completamente as pedras. A presença de cavidades ou vazios interiores é uma característica destas alvenarias que aparecem, consoante os casos, em maiores ou menores percentagens (figura 02.01) (Roque, 2002).

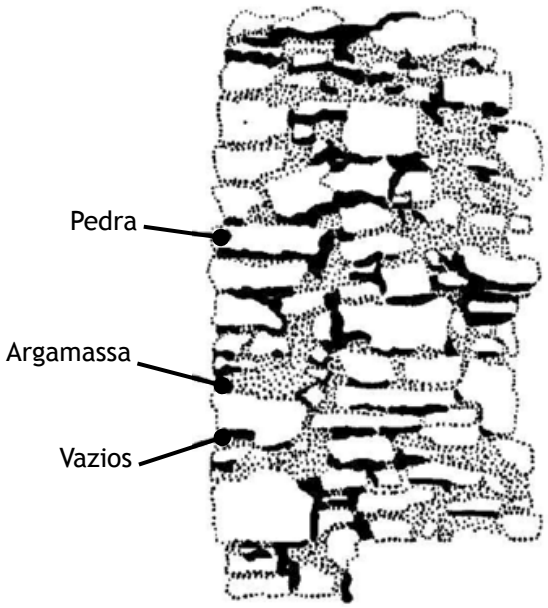


Figura 02.01 - Componentes da alvenaria de pedra: pedra, argamassa e vazios (Roque, 2002)

A composição química e a estrutura das pedras é muito variável, pois resulta da confluência da vários fatores naturais que determinam tanto a formação da sua rocha de origem, como as sucessivas alterações sofridas por esta até se transformar em matéria disponível para ser extraída da pedreira, resultando então nas diferentes classes de pedras conhecidas.

Em Portugal, os tipos de pedra tradicionalmente mais utilizados na construção são os granitos, os xistos e os calcários. Estes podem ser usados em diferentes técnicas construtivas (Pereira & Martins, 2005).

A classificação tipológica tem como objetivo estabelecer as diferenças morfológicas em secções de alvenaria, de pedra e de tijolo cerâmico, típicas de diferentes épocas e locais.

De acordo com Pinho (1996), as diferentes tipologias e designações de paredes de alvenaria antigas identificam-se de acordo com:

- a função desempenhada (quadro 02.02);
- a natureza e caraterísticas dos materiais e ligantes utilizados (quadro 02.03).

Quadro 02.02 - Classificação das paredes dos edifícios antigos e dos muros antigos de acordo com a sua função (Pinho, 1996)

Designação	Função	Observações
PAREDES MESTRAS - interiores - de fachada (frente e tardoz) - laterais (empena quando se prolonga até ao espigão do telhado)	Paredes resistentes, interiores ou exteriores, geralmente com grande espessura	Nas construções correntes, as paredes com capacidade resistente que definem grandes divisões, designam-se por *FRONTAIS*
PAREDES DIVISÓRIAS ou de COMPARTIMENTAÇÃO	Dividem o espaço limitado pelas paredes mestras	Quando não suportam cargas e apenas delimitam pequenas divisões, designam-se por TABIQUES
MUROS DE SUPORTE	Sustentam geralmente as terras das trincheiras e dos aterros, e servem também de revestimento aos seus taludes	--
MUROS DE VEDAÇÃO	Limitam ou fecham um espaço	--
MUROS DE REVESTIMENTO	Protegem os taludes dos agentes atmosféricos	Têm a inclinação natural dos taludes onde se aplicam, e uma espessura reduzida

Quadro 02.03- Designação das paredes dos edifícios antigos de acordo com a natureza, dimensão, grau de aparelho e material ligante das pedras (Pinho, 1996)

Natureza e Caraterísticas dos Materiais e dos Ligantes Utilizados na Construção das Paredes dos Edifícios Antigos	Designação
Pedras de cantaria com as faces devidamente aparelhadas, assentes em argamassa ou apenas sobrepostas e justapostas	Parede de cantaria
Pedras irregulares aparelhadas numa das faces, assentes em argamassa ordinária	Alvenaria de pedra aparelhada
Pedras toscas, irregulares em forma e dimensões e ligadas com argamassa ordinária	Alvenaria ordinária
Pedras ligadas com argamassa hidráulica	Alvenaria hidráulica
Pedras ligadas com argamassa refractária	Alvenaria refractária
Pedras assentes por justaposição, apenas travadas entre si, sem qualquer tipo de argamassa	Alvenaria de pedra seca Empedrados
Paredes de alvenaria e cantaria; de alvenaria e tijolo; de alvenaria com armação de madeira; etc.	Paredes mistas
Paredes construídas com tijolo	Alvenaria de tijolo
Paredes construídas com betão	Alvenaria de betão
Paredes construídas com terra	Paredes de adobe Paredes de taipa

Mediante as designações referidas no quadro anterior podemos, então afirmar, que as alvenarias em pedra dividem-se em:

- Alvenarias de pedra aparelhada;
- Alvenarias ordinárias;
- Alvenarias de pedra seca ou junta seca.

2.1 - Alvenaria de pedra aparelhada

Constituída por pedras irregulares assentes em argamassa, escolhendo-se para formar os paramentos, as pedras rijas de melhor aspeto e que se aparelham numa das faces (Branco, 1981). As arestas podem ser aperfeiçoadas, não para lhes dar forma regular mas a fim de lhes tirar maiores irregularidades, de maneira a que a pedra apresente no paramento à vista o aspeto de um polígono irregular, aparelho rústico (Pereira & Martins, 2005). Temos também o aparelho regular tosco, de alvenaria aparelhada, que corresponde ao mesmo sistema anterior mas com as pedras retangulares.



Figura 02.02 – Exemplo de alvenaria de pedra aparelhada, Sé da Guarda (Wikipédia, 2010)

Nas figuras seguintes pode-se observar alguns exemplos de pedras para se obter a alvenaria aparelhada (figura 02.03) e alguns aspetos possíveis de alvenaria aparelhada (figura 02.04).

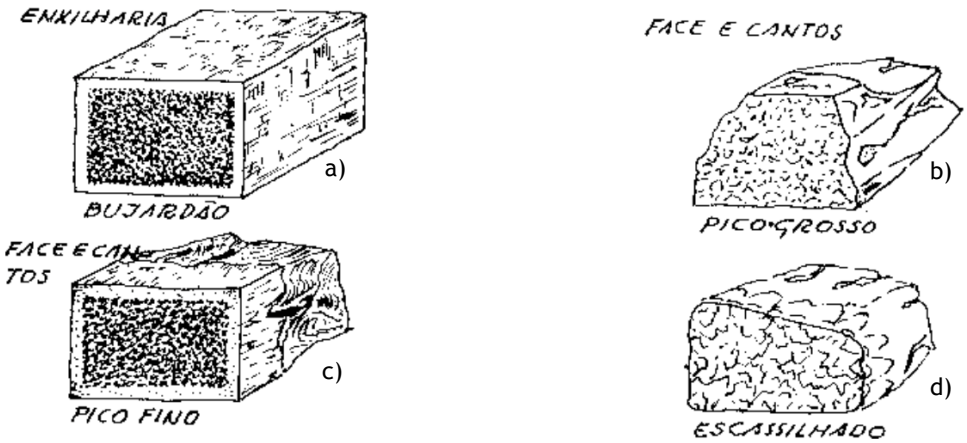


Figura 02.03 – Exemplos de Pedras para se obter a Alvenaria Aparelhada (Branco, 1981): (a) Bujardão; (b) Pico grosso; (c) Pico fino; (d) Escassilhado

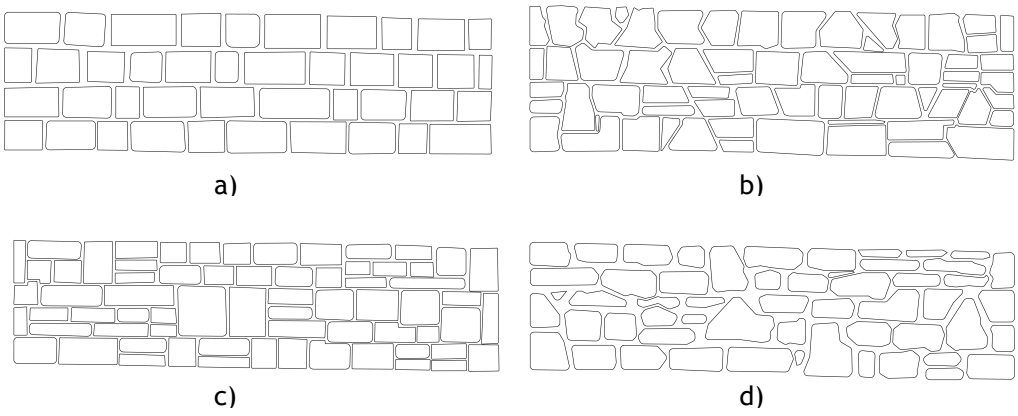


Figura 02.04 – Diversos aspetos possíveis de alvenaria aparelhada (Branco, 1981): (a) Regular com fiadas iguais; (b) Irregular; (c) Regular em painéis; (d) Cantos adossados, junta larga

2.2 - Alvenaria ordinária

Constituída por pedra irregular assente em argamassa, sendo o seu modo de "fazer" análogo ao da alvenaria aparelhada, observando-se porém que este trabalho é menos cuidado e por isso mais fácil e rápido (Branco, 1981). Esta alvenaria é normalmente executada para ser revestida com reboco. De qualquer modo, as pedras devem ser assentes pela parte mais lisa para não oscilarem, nem deixar espaços vazios sem argamassa.

Pela irregularidade das pedras é necessário, muitas vezes, introduzir pedras pequenas ou lascas de tijolo nos interstícios das pedras para as fixar e maciçar.

Neste sistema o peso da pedra concorre para a estabilidade da construção, mas também depende da aderência devida à argamassa. A argamassa pode ser de simples barro, cal e areia ou argamassa hidráulica e areia usada em trabalhos à prova de água, ou ainda o barro refratário no caso da construção de fornos, como se ilustra na figura 02.05. (Pereira & Martins, 2005).



Figura 02.05 – Construção em alvenaria ordinária (Pereira & Martins, 2005)

Dentro deste tipo de alvenarias, podemos ter diferentes tipos de tipologias de assentamento, como se ilustra na figura seguinte (figura 02.06)

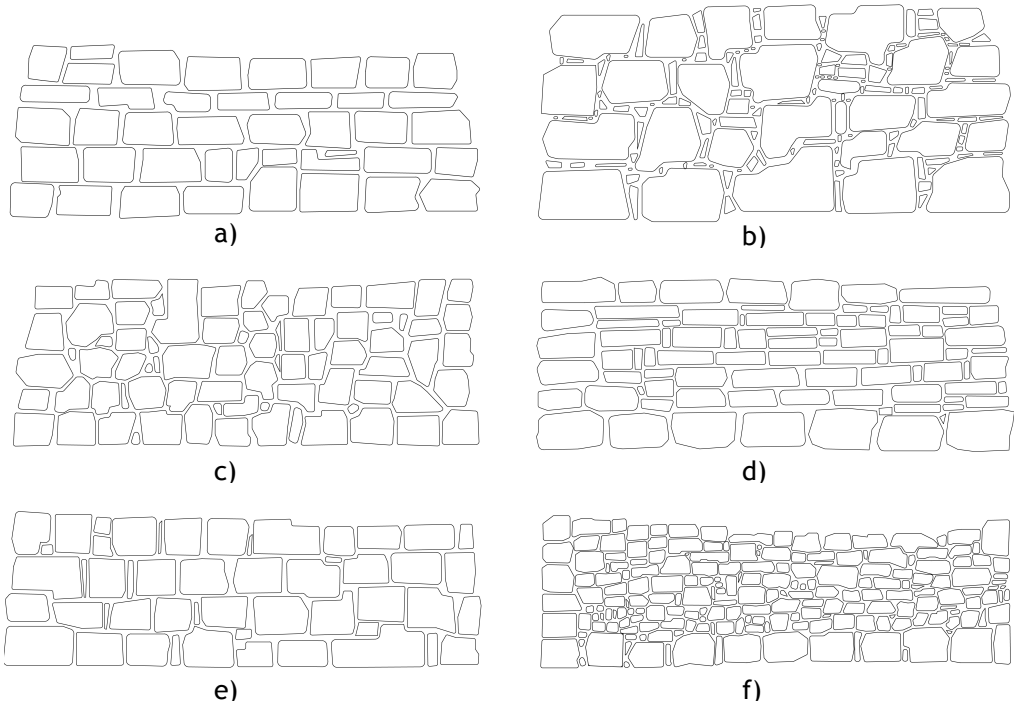


Figura 02.06 – Tipologias de assentamento de pedra: (a) pedra regular; (b) alvenaria de junta larga; (c) pedra irregular; (d) pedra lamelar; (e) pedra irregular corrigida; (f) pedra irregular natural

2.3 - Alvenaria de pedra seca ou sem junta

Consiste na técnica de construção de paredes que dispensa o uso de argamassa na ligação das pedras entre si (figura 02.07), tendo-se desenvolvido principalmente nas zonas onde a cal era escassa (Branco, 1981). Apesar de se poder aplicar este termo técnico a toda e qualquer alvenaria de pedra que não utilize argamassa de ligação, vulgarmente ela é associada à alvenaria de pedra irregular, mas também pode ser adoptada em obras que pela perfeição e desempeno das superfícies o uso da argamassa possa ser dispensado, normalmente tendo em vista o efeito da junta seca.

Para obviar à menor coesão da parede, consequente da falta de argamassa de assentamento, esta técnica requer uma boa execução no travamento das pedras entre si através do encaixe cuidado das pedras e da utilização de escassilhos (Pereira & Martins, 2005).

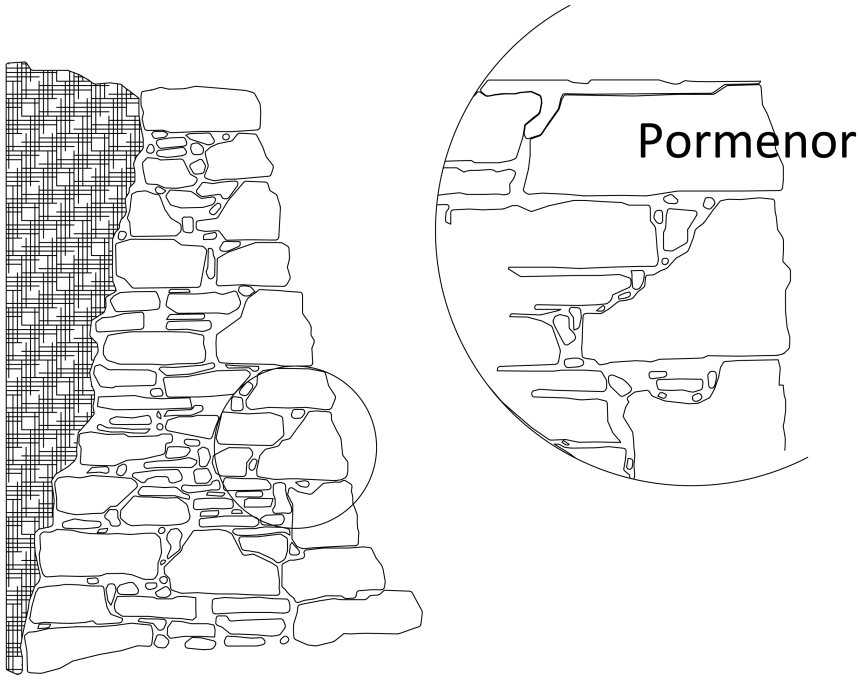


Figura 02.07 – Muro de suporte de alvenaria seca – Fiadas regularizadas à régua

Estas técnicas, em muitos dos casos, não são aplicadas isoladamente, poderá haver numa mesma construção um conjunto de técnicas associadas, à qual se dá o nome de técnica mista, conforme se ilustra na figura 02.08.



Figura 02.08 – Técnica mista, aplicação de tijolo burro no arranque da abobada, enchimento com alvenaria ordinária e a secção do arco em alvenaria aparelhada (Pereira and Martins, 2005)

2.4 - Paredes em pedra com funções estruturais

Segundo Binda (1998), para paredes de alvenaria em pedra com fins estruturais, a classificação tipológica assenta em quatro parâmetros base:

- As pedras: a forma das pedras utilizadas (trabalhadas ou não trabalhadas), a natureza ou origem, as dimensões, a cor e o estado de conservação;

- A secção, com referência à tipologia construtiva: o número de paramentos e respetiva espessura, o grau de sobreposição (ou imbricamento) entre paramentos, a presença de pedras transversais (perpianhos ou travadouros), que façam a ligação entre os paramentos, ou de cunhas ou calços de assentamento, a dimensão e distribuição de vazios, a percentagem de combinação dos componentes (pedra, argamassa e vazios);

- O assentamento: relativo à textura e regularidade das superfícies de assentamento (regular, irregular, desbastada, etc.) e sua disposição, com destaque para a presença de calços ou cunhas (realizados com pedras de menores dimensões - seixos de assentamento);

- A argamassa utilizada como elemento de ligação entre as pedras (não se considera o reboco ou a argamassa utilizada na correcção das juntas), identificando principalmente a sua consistência e, secundariamente, o desempenho, a espessura das juntas, a cor, o diâmetro, a forma e a cor dos agregados.

Assim, e com base no *Grupo Nazionale per la Difesa dai Terramoti (GNDT)*, podemos classificar as alvenarias de pedra quanto ao tipo de aparelho de: juntas desalinhadas; juntas irregulares alinhadas; juntas regulares alinhadas, como se ilustra na figura 02.09. A mesma entidade classifica ainda as alvenarias quanto ao tipo de assentamento, em que pode ser: horizontal; horizontal/vertical; aleatório; escalonado com fiadas de regularização; em "espinha de peixe"; com calços ou cunhas. Estes tipos de assentamento podem ser observados na figura 02.10.

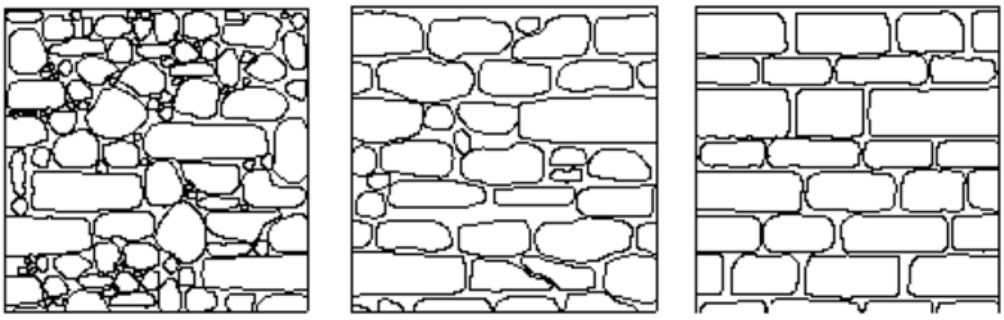


Figura 02.09 – Classificação das alvenarias de pedra quanto ao tipo de aparelho (GNDT): (a) juntas desalinhadas; (b) juntas irregulares alinhadas; (c) juntas regulares alinhadas.

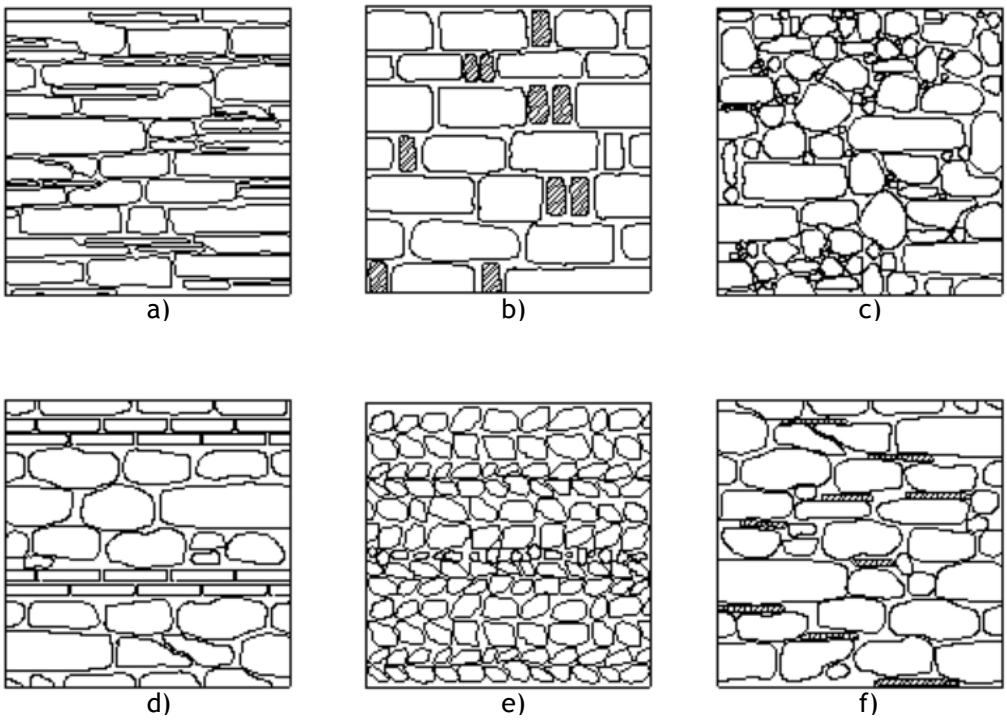


Figura 02.10 – Classificação das alvenarias de pedra quanto ao tipo assentamento (GNDT): (a) horizontal; (b) horizontal / vertical; (c) aleatório; (d) escalonado com fiadas de regularização; (e) em "espinha de peixe"; (f) com calços ou cunhas.

Na sequência de programas de investigação (Binda and Penazzi, 2000), realizados em Itália, sobre edifícios históricos danificados pelos sismos, definiram-se três tipologias principais divididas em subcategorias (figura 02.11):

- Paredes de paramento simples:
  - De pedra transversal única;
  - De pedra transversal única com rebocos espessos;
  - De grande espessura (em geral, com mais que uma pedra transversal).

- Paredes de dois paramentos:
  - Paramentos sem ligação: paredes constituídas por dois paramentos completamente separados por uma junta vertical ao longo do interface de contato, seca ou preenchida por argamassa e cascalho (figura 02.11b);
  - Paramentos ligados (figura 02.11c):

- Por simples sobreposição: as pedras dos paramentos sobrepõem-se ligeiramente (cerca de 2 cm) no interface de contato;
- Por pedras transversais: utilização de pedras transversais alongadas que atravessam toda a secção, designadas por perpianhos ou travadouros.

- Paredes de três paramentos: constituídas por uma secção resistente, não homogénea, composta por dois paramentos exteriores, com razoável regularidade, separados por uma camada interior (o núcleo) de fraca qualidade (figura 02.11d).

Nas paredes de três paramentos, o núcleo é constituído por material de enchimento, num aglomerado de material grosseiro, composto por restos de blocos e pedras com juntas de argamassa intercaladas, ou por material mais ou menos homogéneo, solto ou parcialmente ligado, caraterizado por uma forte presença de vazios entre a argamassa e as pedras, aleatoriamente distribuídas. Dentro desta categoria podem ainda distinguir-se paredes com: núcleo de pequena espessura ou núcleo de grande espessura (Roque, 2002).

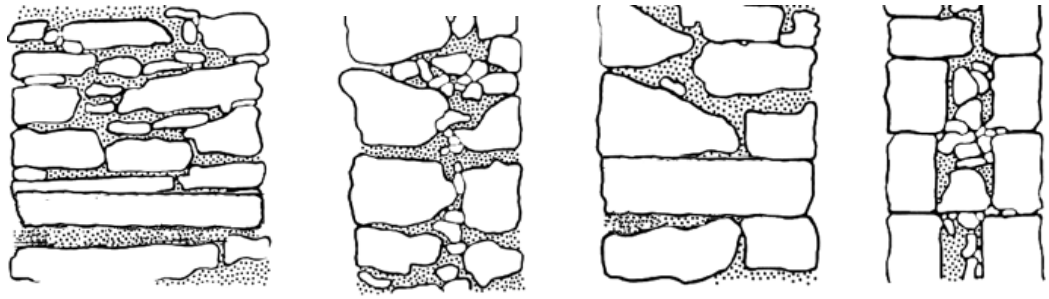


Figura 02.11 – Classificação da secção das paredes em alvenaria de pedra segundo o número de paramentos (Binda and Saisi, 2001): (a) paramento simples; (b) dois paramentos sem ligação; (c) dois paramentos com ligação; (d) três paramentos com núcleo de fraca qualidade.

Num trabalho realizado na caracterização das paredes de alvenaria da Vila de Tentúgal (Lourenço et al., 2002), podemos observar ainda, alguns exemplos típicos das secções transversais das paredes em pedra, as quais mostram uma grande parte da realidade do nosso país, no que diz respeito às tipologias aplicadas (figura 02.12).

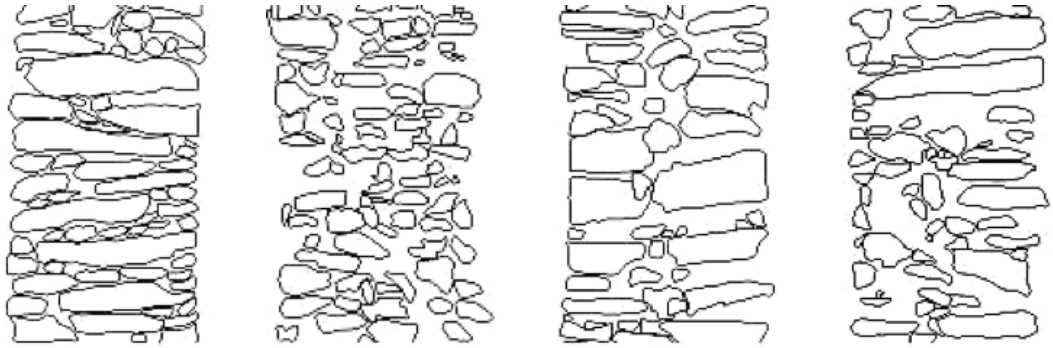


Figura 02.12 – Exemplos típicos do aspeto de secções transversais de paredes de alvenaria em pedra (Lourenço et al., 2002)

3 – Patologias e fatores de alteração

São diferentes as condições físico-químicas que presidiram à formação de um granito, de um calcário ou de um mármore, pelo que tiveram passados genéticos totalmente distintos. São ainda muito diferentes as condições dos ambientes onde hoje se exploram essas rochas em relação àquelas em que se formaram, no que respeita às condições termodinâmicas (pressão e temperatura) ambientes. Este desequilíbrio termodinâmico das condições de formação versus as condições atuais de jazida, traduz-se por uma palavra: alteração (Aires-Barros, 2006).

O conceito de alteração é meramente geológico, ciência onde a unidade de tempo em que se medem os seus fenómenos é o milhão de anos. Interessa talvez, considerar antes a vida da rocha que usamos na nossa obra de construção à escala da vida humana, à escala da vida da própria obra de arquitetura ou de engenharia que são várias décadas, alguns séculos. Então chamaremos alterabilidade de uma rocha à sua alteração medida em função de um tempo humano. É uma taxa de decaimento durante a vida atribuível à obra. Consiste num conceito geotécnico e que interessa manusear, averiguando quais as alterabilidades, previsão do decaimento, em tempo útil no decorrer da vida dos homens (Aires-Barros, 2006).

São diversos os estudos sobre alteração e alterabilidade dos diferentes tipos de rochas usadas na construção no nosso país. Todos os materiais, pétreos ou não, estão sujeitos a estes fenómenos, que podemos afirmar como “intrínsecos” uma vez que eles vão ter que ocorrer de uma forma mais rápida ou lenta, dependendo das caraterísticas do próprio material e todos os fatores externos a que está sujeito.

O conjunto de fenómenos de alteração, alterabilidade e fatores externos, poderão causar situações patológicas ou decaimentos, de maior ou menor gravidade, nos materiais e por consequência nas estruturas onde estão inseridos.

Não é pretensão deste capítulo ou deste trabalho descrever, caraterizar ou aprofundar os conceitos de alteração e alterabilidade, mas sim, os fatores ou agentes promotores de patologias nas pedras naturais em edifícios constituídos por elementos pétreos.

Designa-se habitualmente por patologia de uma construção o conjunto de degradações e danos a que os materiais e os elementos de construção são sujeitos, que podem comprometer o desempenho da construção.

A degradação dos materiais constituintes de uma construção é um processo que se desenvolve naturalmente com o tempo, e que pode ser acelerado por acções químicas, físicas ou

biológicas. As principais consequências são a deterioração das superfícies dos elementos, a perda de material e, do ponto de vista mecânico, a redução da sua resistência.

Os danos devido a ações mecânicas ocorrem quando as ações atuantes numa determinada zona da construção excedem as resistências dos materiais. Estes danos são assim, produzidos ou por ações agravadas, ou resistências insuficientes. As alterações podem também ser fonte de danos numa construção (Santos, 2008).

Sendo os edifícios antigos constituídos por paredes estruturais, a degradação acaba por colocar em risco a resistência estrutural da construção. Para os edifícios históricos, não há conceito de vida útil, pelo que os requisitos de durabilidade são mais exigentes que para os edifícios recentes. De acordo com o "espírito" da Carta de Veneza, pode afirmar-se que estes devem ter uma durabilidade ilimitada (Gonçalves, 2003).

3.1 – Tipos de decaimento

Diversos são os fatores causadores de situações patológicas nos materiais pétreos dos monumentos, diversas são igualmente, as opiniões de diferentes autores sobre esta questão, embora de uma forma geral todos apontem para três tipos de agentes, químicos, físicos e biológicos.

As principais causas de degradação de um material pétreo são consequentes dos seguintes agentes (Araújo, 2003):

- Agentes geológicos;
- Agentes climáticos e meteorológicos;
- Agentes biológicos;
- Agentes humanos.

Os principais agentes diretos e indiretos da degradação, pertencentes à categoria dos agentes climáticos e meteorológicos, são constituídos essencialmente por:

- Água;
- Incidência solar;
- Poluição atmosférica;
- Vento;
- Temperatura.

As diferentes hipóteses que foram apresentadas para se tentar explicar as diferentes causas da degradação, relativas a estes agentes, podem ser classificadas num dos seguintes processos:

- Ataque químico em consequência de deslavamento;
- Ataque químico em consequência da condensação;
- Ataque físico por dissolução e evaporação;
- Transferência de sais solúveis para a superfície, através de mecanismos de dissolução e evaporação;
- Dilatações consequentes de processos de humidificação e evaporação;
- Fenómenos de congelamento.

Os organismos vivos contribuem para o decaimento das pedras, se bem que a sua acção seja ligeiramente menos agressiva, relativamente aos outros já observados. Estes podem-se dividir em:

- Plantas;
- Bactérias;
- Animais.

As formas de decaimento ou patologias da pedra podem definir-se como (Dionisio et al., 2009) sendo as modificações da sua morfologia, decorrentes de processos de alteração desencadeados por fatores ambientais, pelo uso de materiais incompatíveis, por ações de manutenção inadequadas, por medidas de conservação inapropriadas ou por atos de vandalismo. As patologias podem não só ser de diferentes tipos como também apresentar diferente extensão e grau de severidade (intensidade de decaimento).

Segundo ainda, os mesmos autores (Dionisio et al., 2009), as rochas dos monumentos podem sofrer três tipos de decaimento. São eles:

- Decaimento químico, que resulta de reacções químicas que ocorrem à superfície e nas descontinuidades das rochas, originando minerais secundários;
- Decaimento físico, que resulta de fenómenos de expansão e/ou retração provocadas por variações térmicas, abalos sísmicos ou ainda por expansão devido à génese de minerais secundários por recristalização;

- Decaimento biológico, que é provocado não só pelo crescimento nas rochas de micro organismos, como ainda pela ação das aves e do vandalismo humano.

Importa referir que estes três tipos de decaimento encontram-se, na maior parte dos casos, interligados, pelo que se torna extremamente difícil distinguir, qual deles terá tido a ação principal no processo de degradação, ou se a ação de um deles desencadeou fenómenos propícios ao aparecimento de outros.

No caso particular do nosso país (Lourenço, 2008), uma parte significativa dos monumentos e edifícios em pedra chegaram até ao nosso século em razoável estado de conservação, devido essencialmente às condições ambientais amenas e ao fato de o nosso país não ter sofrido as destruições provocadas em grande parte dos países da Europa pelas duas grandes guerras mundiais. No entanto, nos últimos anos, verifica-se um aceleramento dos processos de degradação, essencialmente devido:

- ao aumento dos índices de poluição atmosférica;
- ao estado de abandono a que tem sido votado algum património, permitindo uma degradação e até mesmo em muitos casos a destruição de importantes referências da arquitectura ancestral;
- a ausência de uma cultura de manutenção dos edifícios e de um enquadramento legislativo de incentivo à conservação;
- o recurso a técnicas e métodos que agravam os processos de degradação.

As patologias podem ocorrer em todos os elementos de um edifício, estruturais, não estruturais e nos seus materiais constituintes. Os agentes patológicos, salvo algumas exceções, são comuns em todos esses elementos, como se pode verificar no quadro 03.01, onde são caraterizados os agentes patológicos que podem ocorrer em elementos não estruturais de um edifício, mas que se adaptam perfeitamente às situações verificadas nos elementos pétreos de um monumento.

Quadro 03.01 – Causas e agentes de patologias não estruturais (Silva, 2002)

Tipo de Causa	Fase	Agente
Humanas	Na fase de **concepção e projecto**	– Ausência de projecto – Má concepção – Inadequação ao ambiente – Inadequação a condicionalismos técnico-económicos – Informação insuficiente – Escolha ou quantificação inadequada das acções – Modelos de análise ou de dimensionamento incorrectos – Pormenorização deficiente – Erros numéricos ou enganos de representação
	Na fase de **execução**	– Má qualidade dos materiais – Impreparação da mão de obra – Má interpretação do projecto – Ausência ou deficiência de fiscalização
	Na fase de **utilização**	– Acções excessivas face ao projecto – Alteração das condições de utilização – Remodelação e alterações mal estudadas – Degradação dos materiais (deterioração anormal, incúria na utilização) – Ausência, insuficiência ou inadequação da manutenção
Acções Naturais	Acções **físicas**	– Gravidade – Variações de temperatura – Temperaturas extremas – Vento (pressão, abrasão, vibração) – Presença da água (chuva, neve, humidade do solo,...) – Efeitos diferidos (retracção, relaxação)
	Acções **químicas**	– Oxidação – Carbonatação – Presença de água – Presença de sais – Chuva ácida – Reacções electroquímicas – Radiação solar (ultra-violetas)
	Acções **biológicas**	– Vegetais (raízes, trepadeiras, líquenes, bolores, fungos) – Animais (vermes, insectos, roedores, pássaros)
Desastres Naturais		– Sismo, ciclone, tornado – Trovoada, cheia, tempestade marítima, tsunami – Avalanche, deslizamento de terras erupção vulcânica
Desastres de causas humanas		– Fogo, explosão, choque, inundação

Como se pode verificar são diversos os agentes patológicos que poderão atuar isoladamente ou em conjunto nas pedras naturais existentes nas estruturas dos nossos monumentos. Embora no quadro anterior se ilustre, de uma forma clara mas resumida, um conjunto de agentes que contribuem para o decaimento das rochas, existem outros fatores atuantes nas ações de alteração ou decaimento dos monumentos, como se pode verificar no esquema da figura seguinte (figura 03.01).

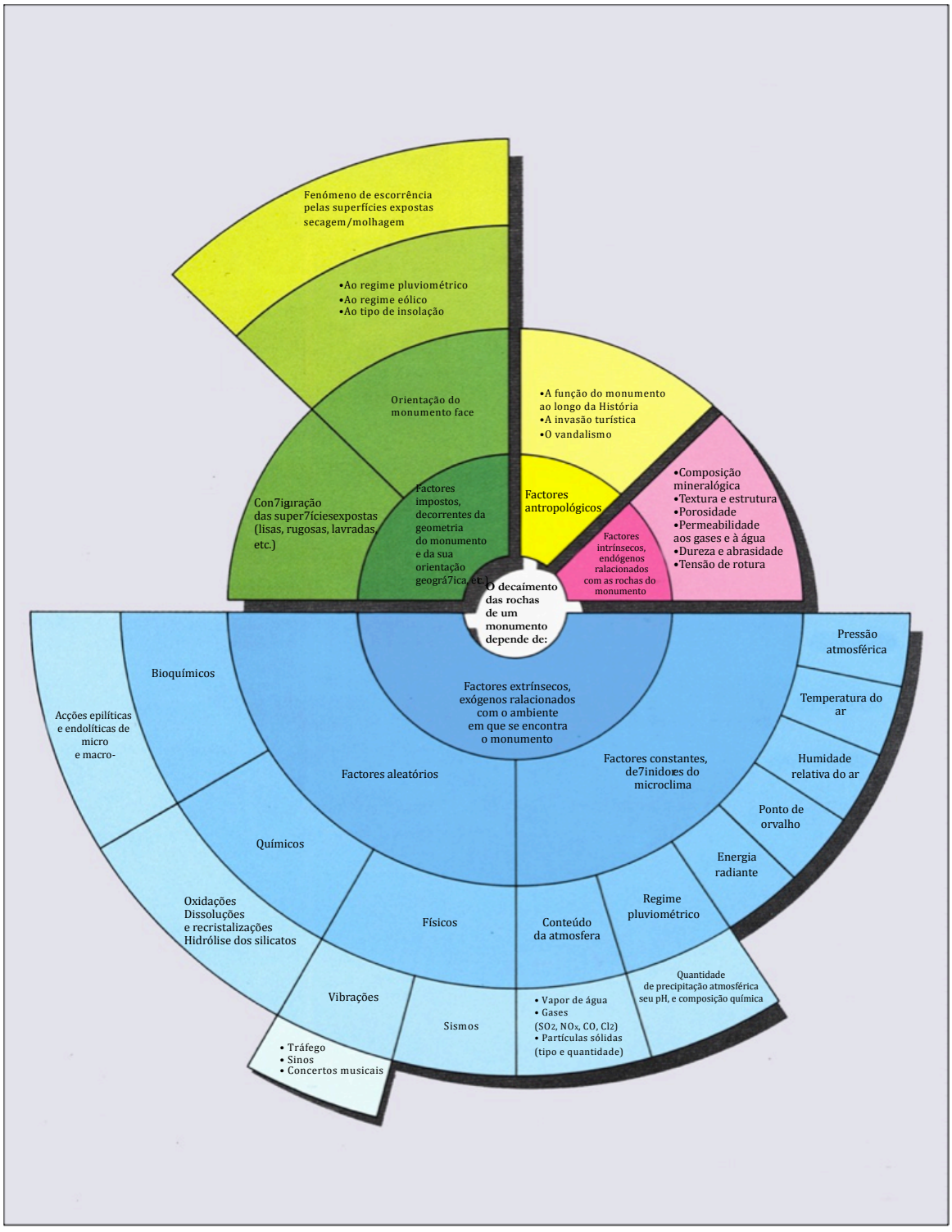


Figura 03.01 – Fatores de alteração ou decaimento das rochas dos monumentos (Aires-Barros, 1991)

Segundo Aires-Barros (2001), muitas vezes, é difícil distinguir os diversos tipos de decaimento: o químico, o físico e o biológico. Os efeitos somam-se, convergem, as causas intercruzam-se. Os fenómenos de índole química têm efeitos físicos (v.g., cristalização de sais com expansão volumétrica), uma transformação física desencadeia reacções químicas (v.g., o degelo da

água em microfissuras e poros de rocha granitóide inicia processos de hidrólise), as ações biológicas repercutem-se em modificações físicas e químicas.

Embora a maioria dos autores estejam em consonância no que diz respeitos aos mecanismos e agentes do decaimentos das rochas (físicos, químicos e biológicos), torna-se algo difícil atribuir o surgimento ou o agravamento de uma patologia a um agente específico ou grupo de agentes e poder caracteriza-la com a firme certeza dentro de um dos agentes referidos. De seguida, irão descrever-se os principais fatores ou agentes de decaimento de rochas em monumentos, dando preferência ao agente que atua sobre a rocha, podendo ou não ser relacionado com o tipo de decaimento.

3.2 - Mecanismos e agentes do decaimento

3.2.1 - Ação da água

A água pode constituir um importante fator de decaimento das rochas aplicadas nos monumentos. É um agente polivalente dado as mudanças de estado que pode experimentar. A água é o principal veículo de agressão das rochas e está associada praticamente a todos os processos e tipos de alteração que uma rocha sofre, uma vez que serve de transporte de outras substâncias, como sais solúveis, contaminantes atmosféricos e organismos vivos, que aumentam consideravelmente o seu papel nos processos de decaimento (Dionísio et al., 2009).

A ação da água, independentemente da sua origem, manifesta-se através de:

- Reações químicas com o substrato pétreo: reações de dissolução, hidrólise, hidratação, etc.;
- Fenómenos de caráter físico, como por exemplo rotura devido às tensões criadas no material durante os ciclos de cristalização-dissolução e hidratação de sais, ciclos de gelo-degelo da água nos poros e fissuras das rochas e por variação do grau de saturação, etc..

A água transportando sais do exterior, ou que vai acumulando durante a sua movimentação a partir da rocha ou outros materiais presentes pode, ao atingir a superfície ou o interior dos materiais pétreos, evaporar-se e depositar sais, dando-se assim fenómenos de eflorescências quando a cristalização se dá à superfície ou, criptoeflorescências ou sub-eflorescências, no caso de se formar no seu interior (Dionísio et al., 2009).

O preenchimento dos poros das rochas dos monumentos por água pode fazer-se por condensação/evaporação, ascensão da água subterrânea, capilaridade e molhagem direta das águas das chuvas, sendo responsável por vários efeitos, tais como (Aires-Barros, 1991):

- Dissolução de algumas ligações cristalinas, com o enfraquecimento da resistência mecânica do mineral;
- Recristalização de soluções por evaporação, que provoca variação da capacidade de transpiração da rocha;
- Transporte de sais através da rocha, principalmente por ascensão capilar da humidade do subsolo e das chuvas e por evaporação;
- Sobrepressão no interior da franja capilar quando se dá a evaporação da água e a obstrução dos capilares;
- Ciclos de secagem-molhagem. A molhagem é promovida pela chuva, ascensão capilar e condensação; a secagem pela evaporação. Esta alternância promove dissolução, migração e recristalização de sais solúveis;
- Ciclos de gelo-degelo;
- Atividade biológica.

Segundo Aires-Barros (2001), a chuva, associada ao vento, tem uma ação primordial nos fenómenos de degradação dos monumentos.

Dependendo da velocidade e intensidade do vento, da topografia local e da geometria da superfície exposta, as águas das chuvas podem provocar:

- Escoamento (run-off);
- Simples molhagem.

Nas zonas caraterizadas por regime laminar, a perda de material é menor do que nas zonas de escoamento turbulento, onde a atividade mecânica e química são maiores devido à mistura da água com a rocha.

Pelo mesmo autor (Aires-Barros, 2001), a condensação é menos importante no decaimento dos monumentos do que a ação da chuva, uma vez que, por estudos realizados, em zonas de monumentos sujeitas a condensação, os efeitos mais nefastos verificaram-se nas zonas não protegidas das águas das chuvas.

Outra consequência das águas sobre as rochas dos monumentos, é o ciclo gelo-degelo, o qual pode provocar vários efeitos mecânicos, dando origem a situações patológicas, tais como: lascagem, escamação, esfoliação e mesmo fraturas.

Uma consequência da ação da água é a formação de sais solúveis. Segundo Gonçalves (2003), esses efeitos nefastos assumem uma especial importância nos edifícios antigos, na medida em que estes são, normalmente, constituídos por paramentos maciços, de grande espessura, em que os seus materiais são porosos e hidrófilos, os quais favorecem a circulação e permanência da humidade no seu interior. A ascensão da água a partir do solo é uma constante neste tipo de edifícios, uma vez que que os paramentos se encontram em contato direto com o terreno, não havendo qualquer tipo de corte de capilaridade. A constituição dos revestimentos, normalmente de cal aérea, muito porosa e de fraca resistência mecânica, não resiste às tensões internas decorrentes da cristalização dos sais.

Como se pode verificar, a água é um elemento natural essencial, mas ao mesmo tempo, um fator de causas patológicas nas rochas dos monumentos. Diagnosticar corretamente a origem da água, é essencial para a escolha das medidas preventivas e/ou corretivas adequadas. Não sendo possível proteger os elementos pétreos da água de uma forma definitiva, sugere-se que, pelo menos, em intervenções de conservação, seja ponderada a minimização desta ação, através do uso de metodologias e técnicas que não desencadeiem outras ações nefastas, como serão, mais à frente explicadas, neste trabalho.

3.2.2 - Ação da atmosfera (contaminantes atmosféricos)

O grau de deterioração sofrido pela pedra (Castro and Cravo, 1987) está relacionado não só com a composição qualitativa e quantitativa dos agentes de poluição, como com as caraterísticas da própria pedra. Assim, a sua composição química e mineralógica e as suas propriedades físicas, são parâmetros de que depende a sua suscetibilidade aos agentes agressivos.

Para Aires-Barros (1991), todos os mecanismos complexos que se agregaram nas categorias de físicos, químicos e biológicos, estão dependentes do tipo de deposição dos componentes da atmosfera sobre as superfícies da rocha do monumento. Esta deposição dos componentes pode ser por via seca ou húmida.

Na deposição seca, os componentes da atmosfera normal ou contaminada atingem a parede do monumento sob a forma de partículas, gases ou aerossóis, transportados por ação eólica (Aires-Barros, 2001).

A deposição húmida é consequência do transporte dos componentes da atmosfera por acção da chuva ou neve. Esta compreende, por um lado, a incorporação nas películas superficiais das paredes do monumento de substâncias transportadas pelas gotículas da chuva e, por outro, a remoção de substâncias das mesmas superfícies por lavagem devido à escorrência (Aires-Barros, 2001).

Uma terceira via, que não se deve desprezar é, aquela que resulta do impacto do nevoeiro e das gotículas das nuvens com as paredes do monumento, à qual se poderá chamar deposição oculta, que funciona como "fixador" dos elementos atmosféricos transportados por via eólica.

Como se pôde observar, os elementos constituintes da atmosfera, poderão atingir as rochas constituintes das paredes de um monumento de diferentes formas, com consequências diversas para estas, dependendo do tipo de elemento transportado e da forma como é depositado. Interessa agora, talvez, definir o que se entende por contaminação atmosférica e as suas principais fontes de contaminação.

Para Dionísio et al. (2009) como para Aires-Barros (2001), os contaminantes atmosféricos poder-se-ão definir como concentrações anómalas de gases e partículas, que alteram a qualidade do ar de modo a provocar risco grave para as pessoas, animais ou plantas e para os bens imóveis de qualquer natureza.

Para Aires-Barros (2001), as principais fontes de contaminação atmosférica são:

- O crescimento urbano, com o consequente aumento da circulação automóvel e do aquecimento doméstico;
- O crescimento industrial.

O segundo tipo de crescimento é o mais nefasto para a transparência do ar, visto que, o número de focos, o volume das suas emissões, as caraterísticas e teor dos contaminantes, são muito mais elevados neste tipo de crescimento do que no urbano. Embora, nos monumentos inseridos nos grandes centros urbanos, os gases dos veículos motorizados e os sistemas de aquecimento doméstico, podem ter um papel relevante na contaminação das rochas dos monumentos.

Consequência do referido anteriormente e segundo Smith McGreevy (2004), atualmente, a chuva ácida é considerada a principal responsável por esta aceleração da degradação da pedra. A chuva ácida ocorre quando certos poluentes provenientes da indústria e dos escapes dos veículos, se combinam, à luz do sol com a humidade atmosférica, para formarem um cocktail de químicos que inclui os ácidos sulfúrico e azótico. Para esta chuva ácida também podem contribuir partículas poluentes (v.g. partículas de carvão não queimado e de cinzas

volantes) que caem no terreno sob a forma de "deposição seca", a reação de gases com a pedra molhada e a chamada "deposição oculta", consequente do orvalho e do gelo. Todos eles se combinam para criarem o fenómeno da deposição ácida.

De forma resumida, os fatores ou agentes atmosféricos que afetam diretamente as rochas dos monumentos podem agrupar-se nas seguintes categorias (Aires-Barros, 2001):

- Humidade disponível sob a forma de chuva, nevoeiro ou humidade relativa do ar: uma vez que, quase todos os mecanismos de decaimento da rocha exigem a presença de água;
- A temperatura do ar: são funestos os efeitos do gelo-degelo no interior dos poros das rochas e que, quando a temperatura aumenta, as reações químicas são mais rápidas;
- A insolação: o arrefecimento noturno pode provocar a condensação da água que existe à superfície da rocha e o arrefecimento (ou aquecimento) diferencial da rocha em relação ao ar envolvente afeta a taxa de deposição, bem como os fenómenos de evaporação e de condensação;
- O vento e a energia cinética das partículas com a sua ação abrasiva sobre os paramentos dos monumentos;
- Os constituintes do ar e os contaminantes da atmosfera, condicionam as taxas de ataque químico.

Como se pode comprovar, também neste subcapítulo (ação da atmosfera), a água tem um papel preponderante na origem e/ou agravamento de uma patologia. Os agentes poluentes existentes na atmosfera, transportados por ação do vento, podem atacar isoladamente a rocha de um monumento, mas a sua combinação com a água (de qualquer tipo), formam uma mistura bastante nefasta para as rochas naturais empregues em monumentos, principalmente se não foram sujeitas a qualquer tipo de proteção.

Quadro 03.02 - Mecanismos e agentes promotores do decaimento da pedra segundo Tombach (1982), modificado por Aires-Barros (2001)

Mecanismo	Chuva	Nevoeiro	Humidade	Temperatura	Insolação	Vento	Poluentes Atmosféricos	Aerossol
Abrasão								
por acção do vento						●		●
por acção da chuva	●							
por acção do gelo	●	●		●				
Variação de volume da pedra								
por dilatação diferencial dos minerais				●				
por expansão diferencial devido a aquecimento desigual				●	●		○	
por expansão diferencial devido a desigual conteúdo de humidade	●	●	●	●	●	○	○	○
por expansão diferencial do material das juntas				●				
Variação de volume nos capilares e interstícios								
por congelamento da água	●	●		●				
por aquecimento da água pelo sol	●	●		●	●			
por fixação de água sob pressão quando a superfície congela	●	●		●				
por expansão da água de embebição dos minerais	●	●	●				○	○
por hidratação de impurezas	●		●				○	○
por cristalização de sais			●	●	●	●	○	○
por oxidação de materiais	●	●					○	
Dissolução ou reacção química da pedra								
por dissolução pelas chuvas	●			●			●	●
por dissolução pelos ácidos formados sobre as paredes	●	●	●	●			●	●
por reacção pedra-SO_2	●	●		●			●	
por reacção pedra-partículas ácidas de aerossóis argilosos	●	●		●				●
Actividade biológica								
por ataque químico promovido por bactérias			●	●			●	
por ataque químico e por erosão promovida por associações simbióticas e por plantas que penetram nas descontinuidades da rocha	○	○	●	●				

● - agente atmosférico principal; ○- agente atmosférico secundário.

3.2.3 - Ação dos (micro)organismos

A ação dos microrganismos e animais sobre as rochas, pode afetar-se, muito facilmente, a um tipo de decaimento biológico. Embora para que existe uma ação verdadeiramente patológica deste tipo, na maior partes dos casos, já ocorreu uma ação física ou química, uma vez que, os microrganismos desenvolvem-se em fissuras ou micro-fissuras das rochas e, essencialmente com a presença de água.

Existem vários organismos que se podem desenvolver e/ou atuar nas pedras de um monumento e que, podem pertencer a vários grupos, tais como:

- Bactérias;
- Algas;
- Fungos e líquenes;
- Plantas;
- Animais.

Estes agentes tornam-se relevantes nos processos de decaimento dos materiais pétreos, especialmente em ambientes húmidos e em áreas em que se verifica elevada precipitação.

A atuação destes agentes, excluindo os animais, sobre as rochas é diversa, bem como os seus efeitos. Podem-se considerar como principais efeitos os seguintes (Dionísio et al., 2009):

- Fraturação mecânica devida à pressão que as raízes de certas plantas superiores exercem ao crescerem nas fendas ou juntas das rochas, provocando, além de fissuras e fraturas dos elementos pétreos, o deslocamento dos panos constituintes dos paramentos, pondo em risco o equilíbrio estrutural dos mesmos;
- Decomposição de alguns dos minerais que compõem as rochas por algumas plantas superiores, dado existirem reações de permuta iónica. Alguns organismos segregam ácidos e outros químicos capazes de dissolver alguns componentes das pedras;
- Aumento da superfície da rocha exposta ao ataque através da penetração das hifas dos líquenes nas microdescontinuidades dos cristais, conduzindo a fenómenos de desagregação;
- Criação de um barreira retentora da humidade, impossibilitando a "transpiração" do material pétreo, acentuando a sua decomposição e a alteração da permeabilidade a gases e a líquidos;
- Formação de solo incipiente, onde se pode desenvolver flora contendo musgos e plantas superiores, resultante da dissolução de minerais pelos líquenes e da agregação de matéria orgânica.

Para os mesmos autores (Dionísio et al., 2009), além de todos estes efeitos nefastos para o material pétreo, convém realçar que estes agentes podem também ter um papel positivo na prevenção da evolução do processo degradativo, uma vez que criam uma barreira biogenética protetora a outros elementos, principalmente dos agentes poluidores existentes na atmosfera, os quais são normalmente mais agressivos para o material que o próprio agente biológico. Pelo que, a decisão da remoção das pátinas biológicas, deve ser bastante bem ponderada, principalmente em zonas onde a atmosfera contenha componentes poluidores agressores para o material pétreo existente no monumento.

Os animais podem igualmente ter um papel preponderante no decaimento das rochas, principalmente as aves e em especial os pombos, uma vez que são a espécie que mais "habita" os nossos monumentos. As ações patológicas devem-se ao fato que, os seus excrementos conterem ácidos, insolúveis, que têm um grande poder de ataque químico, em especial sobre as rochas calcárias. Estes ácidos orgânicos contribuem para a aceleração da deterioração das pedras dos monumentos.

As aves podem ainda contribuir para a degradação da pedra natural, através da sua ação mecânica de desgaste (bicadas, unhadas e nidificação).

Embora, de entre as várias espécies, as aves sejam os maiores agentes de ações patológicas, não se pode excluir a ação dos vermes, insetos e roedores, que em grande concentração, poderão ser agentes de degradação (Dionísio et al., 2009).

3.2.4 - Ação humana

A ação humana está subjacente à maioria das patologias verificadas nas rochas dos monumentos, uma vez que, mesmo que se atribua a causa de um decaimento a um ou vários poluentes existentes na atmosfera, convém recordar que, excluindo as erupções vulcânicas e os incêndios florestais fortuitos, o homem é o principal contaminador do meio ambiente, através do desmedido crescimento urbano e industrial, sem muitas vezes se ter em conta as consequências nefastas para o ambiente e as suas repercussões nos seres vivos e materiais (Aires-Barros, 1991).

Embora pareça contraditório, a maior parte das intervenções de conservação dos nossos monumentos, que deveriam, como a própria palavra indica "conservar", são as maiores fontes de surgimento e agravamento de patologias. Esta situação poderia ser minimizada se se tivesse o cuidado de intervir cumprindo, minimamente, as cartas e convenções internacionais ou simplesmente usando a sensatez e as boas regras de arte da construção, tal como faziam os nossos antepassados.

A aplicação de materiais inapropriados e incompatíveis com o suporte, neste caso a pedra, tem como consequência patologias de muito difícil tratamento ou mesmo irreversíveis, como é o caso do uso de argamassas muito ricas em cimento, que para além de todos os sais que irá transferir para o material pétreo, o seu processo de retração irá ter consequências mecânicas na superfície da pedra. O cimento nas juntas e nos paramentos (rebocos) irá impedir a evaporação da água do material pétreo, o que trará consequências irreparáveis, uma vez que, o suporte estará continuamente humedecido e os sais nele contido não poderão migrar para o

exterior. A utilização de consolidantes e impermeabilizantes inadequados, poderão ter consequências semelhantes às anteriores.

A utilização de metais nas obras estruturais (v.g. gatos), ou fixação de elementos, reagindo com a água e o ar, dá-se um processo de oxidação e consequente aumento do seu volume. Este aumento irá ter consequências na rocha onde estiver inserido, provocando fissuras e em muitos casos fraturas de grandes dimensões, inutilizando o material definitivamente. O desaire que teve maior repercussão foi o restauro de Acrópole da Atenas (Castro & Cravo, 1987) no primeiro quartel do século XX, na qual se utilizaram não só elementos estruturais, como vigas e outros, mas também elementos de união, gatos e chumbadouros, de aço. Passadas algumas dezenas de anos várias pedras apresentavam fissuras profundas. Os gatos, por exemplo, provocaram, em alguns casos, o destacamento de fragmentos de mármore compreendido entre os pontos de união.

Uma simples limpeza para remoção de pátinas, pode ser causa ou agravamento de patologias, se por exemplo, na técnica de limpeza usada, se utilizarem produtos químicos inadequados e/ ou se os métodos provocarem uma ação mecânica exagerada sobre a rocha.

Realçar ainda, a utilização que é dada ao monumento, que na maioria dos casos, não é a mesma para aquela que foi concebido. É usual a transformação de conventos em museus e de torres de castelos em miradouros. Para esta adaptação do edifício, foram necessárias intervenções que, usualmente, se denominam de “valorização”, mas que acarretaram novos e mais esforços sobre os elementos pétreos existentes, não estando muitas vezes preparados para tal. Partes relevantes dos monumentos podem hoje ser fruídas, visitadas, atuadas e vandalizadas num ano, no equivalente ao que sofreram, no passado, em séculos.

3.2.5 - Desastres naturais

Dependo da localização do monumento, os desastres naturais poderão ter alguma relevância no decaimento das suas rochas constituintes. Um sismo, por exemplo, mesmo de fraca magnitude, pode causar ligeiros deslocamentos dos panos das paredes de um monumento, que associado à sua tipologia e materiais constituintes pouco elásticos (pedra), tem como consequência a fissuração ou fraturação desses elementos.

Dependendo do tipo de desastre natural, também as patologias subjacentes são diferenciadas. Uma trovoada, cheia, tempestade marítima ou tsunami, além das ações mecânicas verificadas, à que ter em conta a ação das águas e dos sais sobre a rocha. Numa erupção vulcânica, normalmente associada a movimentos da crosta terrestre com

consequências semelhantes às de um sismo, não se poderá menosprezar as cinzas resultantes da erupção, transportadas pelo vento na atmosfera.

3.3 - Principais patologias em monumentos

Como se verificou anteriormente, muitos são os mecanismos e agentes, atuando isoladamente ou em conjunto, causadores de patologias nas rochas dos nossos monumentos. Conhecer a causa da anomalia é imprescindível, mas não menos importante, é reconhecer o tipo de patologia existente, pois sem a associação destes dois fatores, não será de todo possível, atuar de uma forma consciente na procura de um "remédio" ou solução.

De seguida serão apresentadas e definidas as principais patologias que podem afetar as rochas empregues nos monumentos e, sempre que possível, as mesmas serão ilustradas com imagens elucidativas.

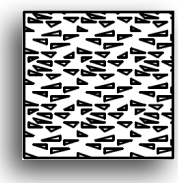
Em várias áreas da construção existe uma simbologia própria e normalizada, de extrema importância para o bom entendimento projetual entre os diversos intervenientes. Na conservação torna-se igualmente necessária a implementação de uma linguagem comum entre os vários profissionais da área, pelo que, se propõe uma simbologia gráfica para cada tipo de patologia descrita, podendo posteriormente, ser utilizada nos projetos da especialidade.

Além da criação dos padrões que ilustram situações patológicas, julgou-se necessário ainda, subdividi-las por graus de gravidade, o que levará a um levantamento mais objetivo e rigoroso sempre que seja necessária a sua classificação no campo. No quadro 03.03, são apresentados os padrões divididos por três níveis de gravidade, onde se optou por manter a forma, alterando-se a cor consoante a situação verificada. Estes níveis serão, meramente indicativos, para uma melhor perceção da dimensão/gravidade da patologia indicada.
Havendo, muitas vezes, a necessidade de realizar impressões monocromáticas, a escala da simbologia também foi alterada para os diferentes níveis de gravidade dentro de cada situação patológica, podendo-se distinguir as formas sempre associadas à parte escrita da legenda.

Quadro 03.03 - Caracterização dos padrões atribuídos às diferentes patologias

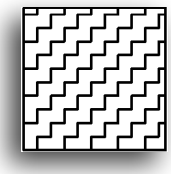
- Abrasão acentuada
- Abrasão moderada
- Abrasão ligeira
- Alteração cromática acentuada
- Alteração cromática moderada
- Alteração cromática ligeira
- Alveolização acentuada
- Alveolização moderada
- Alveolização ligeira
- Arenização acentuada
- Arenização moderada
- Arenização ligeira
- Cavernas grandes dimensões
- Cavernas média dimensão
- Cavernas pequenas dimensões
- Colonização biológica acentuada
- Colonização biológica moderada
- Colonização biológica ligeira
- Concreção acentuada
- Concreção moderada
- Concreção ligeira
- Fixações metálicas grandes dimensões
- Fixações metálicas médias dimensões
- Fixações metálicas pequenas dimensões
- Crosta acentuada
- Crosta moderada
- Crosta ligeira
- Danos de guerra acentuados
- Danos de guerra moderados
- Danos de guerra ligeros
- Deformação acentuada
- Deformação moderada
- Deformação ligeira
- Degradação diferencial acentuada
- Degradação diferencial moderada
- Degradação diferencial ligeira
- Depósito superficial acentuado
- Depósito superficial moderado
- Depósito superficial ligeiro
- Desagregação granular acentuada
- Desagregação granular moderada
- Desagregação granular ligeira
- Deslocamento (estrutural) acentuado
- Deslocamento (estrutural) moderado
- Deslocamento (estrutural) ligeiro
- Eflorescência acentuada
- Eflorescência moderada
- Eflorescência ligeira
- Empolamento acentuado
- Empolamento moderado
- Empolamento ligero
- Erosão acentuada
- Erosão moderada
- Erosão ligeira
- Escamação acentuada
- Escamação moderada
- Escamação ligeira
- Esfoliação acentuada
- Esfoliação moderada
- Esfoliação ligeira
- Fissura grande dimensão
- Fissura média dimensão
- Fissura pequena dimensão
- Fractura grande dimensão
- Fractura média dimensão
- Fractura pequena dimensão
- Fragmentação acentuada
- Fragmentação moderada
- Fragmentação ligeira
- Incrustração acentuada
- Incrustração moderada
- Incrustração ligeira
- Junta aberta grande dimensão
- Junta aberta média dimensão
- Junta aberta pequena dimensão
- Lacuna grande dimensão
- Lacuna média dimensão
- Lacuna pequena dimensão
- Lascagem acentuada
- Lascagem moderada
- Lascagem ligeira
- Mancha grande dimensão
- Mancha média dimensão
- Mancha pequena dimensão
- Pátina acentuada
- Pátina moderada
- Pátina ligeira
- Película acentuada
- Película moderada
- Película ligeira
- Picadura acentuada
- Picadura moderada
- Picadura ligeira
- Placa acentuada
- Placa moderada
- Placa ligeira
- Plaqueta acentuada
- Plaqueta moderada
- Plaqueta ligeira
- Pulverização acentuada
- Pulverização moderada
- Pulverização ligeira
- Vegetação acentuada
- Vegetação moderada
- Vegetação ligeira

3.3.1 - Abrasão



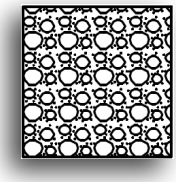
Tipo de erosão em que a ação de desgaste é provocada pelo impacto de partículas. Uma das causas deste tipo de patologia são as limpezas realizadas através de jatos de partículas, normalmente areia, em combinação com pressões elevadas de impacto (Aires-Barros, 2001).

3.3.2 - Alteração cromática / *chromatic alteration*



Variação de um ou mais parâmetros definidores da cor, como a luminosidade (brilho) da própria cor ou a intensidade (saturação). Pode apresentar-se com aspetos diversos e atingir zonas amplas ou localizadas (Araújo, 2003 e Henriques et al., 2005).

3.3.3 - Alveolização



Degradação que se pode manifestar nos materiais com elevada porosidade, sob a forma de múltiplas cavidades de dimensões variáveis, com área de abertura para o exterior de dimensão sub-centimétrica.

Esta patologia produz o efeito de uma descamação e de uma desintegração granular múltipla, associadas com acumulação de sais, e encontra-se frequentemente em áreas sombrias e húmidas onde os sais ficam protegidos contra a perda por dissolução e lavagem pela chuva (Henriques et al., 2005 e Smith & Mcgreevy, 2004).

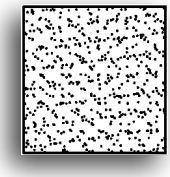


Figura 03.02 – Alteração cromática de alguns elementos - Catedral, Praga, República Checa *(International Council on Monuments and Sites - International Scientific Committee for Stones* (ICOMOS-ISCS, 2008)



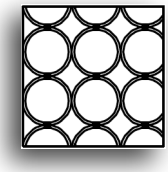
Figura 03.03 – Exemplo de alveolização – Mosteiro da Batalha

3.3.4 - Arenização, pulverização, enfarinhamento



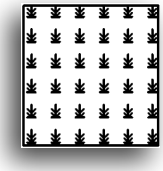
É a desintegração da rocha em fragmentos arenosos e pulveriformes de dimensões inferiores a 2 mm que se manifesta pela queda espontânea de material sob a forma de pó ou grãos (Aires-Barros, 2001).

3.3.5 - Cavernas



Além da alveolização, também se podem desenvolver grandes vazios que podem até destruir completamente blocos de pedra inteiros. O tamanho das cavernas, num edifício, pode ser controlado pelas dimensões dos blocos individuais que se degradam ambientalmente e se desgastam mais rapidamente do que a alvenaria circundante (Smith & Mcgreevy, 2004).

3.3.6 - Colonização biológica



Estrato superficial geralmente fino, de natureza biológica e coloração diversa (normalmente verde), do tipo das algas e líquenes (Henriques et al., 2005).



Figura 03.04 – Arenização do material pétreo – Muralha do Castelo de Pinhel

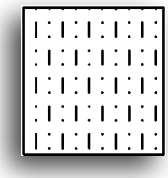


Figura 03.05 – Exemplo de cavernas – maciço granítico de suporte de parte da muralha do Castelo de Marialva



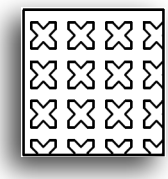
Figura 03.06 – Aspeto de uma rocha com vários tipos de colonização biológica – Jardim da Cidade – Castelo Branco

3.3.7 - Concreção



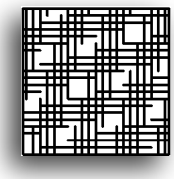
Depósito compacto à superfície do material de extensão limitada com desenvolvimento preferencial não-paralelo a essa superfície. Pode assumir as formas de tipo estalactítico ou estalagmítico, com eventual englobamento de microrganismos. Este depósito pode formar-se quer por transporte de cálcio dissolvido em água dura, quer por recristalização superficial de carbonato de cálcio do substrato (Araújo, 2003 e Henriques et al., 2005).

3.3.8 - Corrosão de fixações metálicas



Ocorrência de oxidação do metal pela entrada de água pelos poros da rocha, provocando a expansão deste e consequente fratura do material pétreo (Smith & Mcgreevy, 2004).

3.3.9 - Crosta



As crostas são camadas compactas de material diferente do da rocha do substrato (crostas negras, crostas brancas) e formado às custas deste, por transformações físico-químicas. Têm espessura variável, são duras, frágeis e distinguem-se do substrato pelas caraterísticas morfológicas e pela cor.

A crosta negra forma-se em ambientes poluídos onde se vai cristalizar o gesso (sulfato de cálcio) sobre a superfície de uma pedra. Conforme se vai formando, ela pode incorporar partículas de poluição que dão a estes depósitos a sua caraterística de cor negra.

A crosta branca pode representar apenas uma fase preliminar do desenvolvimento da crosta negra de gesso (Aires-Barros, 2001 e Smith & Mcgreevy, 2004).

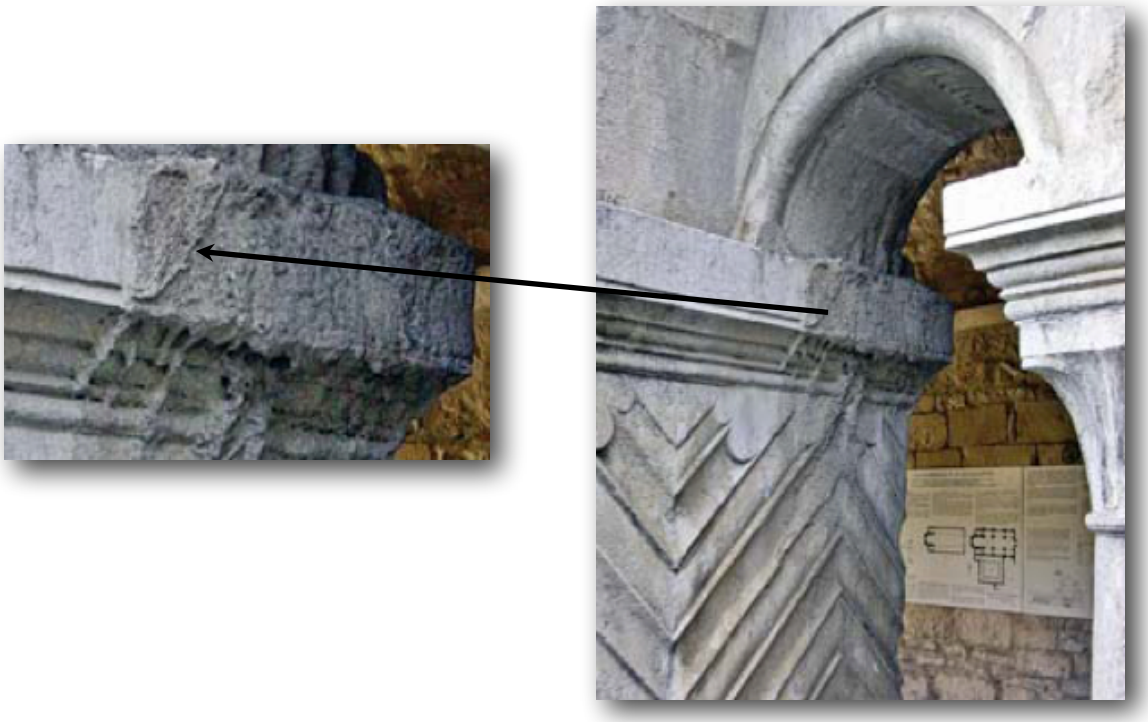


Figura 03.07 – Exemplo de concreção – claustro da antiga catedral de Notre-Dame de Nazaré, Vaison-la-Romaine, França (ICOMOS-ISCS, 2008)

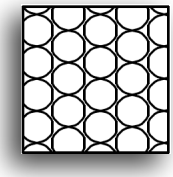


Figura 03.08 – Aspeto de fratura provocada por corrosão de uma fixação metálica – Jardim da Cidade, Castelo Branco



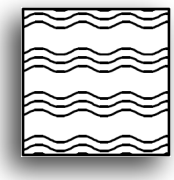
Figura 03.09 – Exemplo de crostas negras – Mosteiro da Batalha

3.3.10 - Danos de guerra



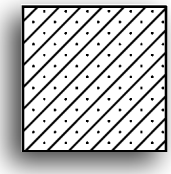
Além das perfurações realizadas por projéteis metálicos (balas), estas, através da sua força de impacto sobra a rocha, podem ter provocado fissurações ou fraturações, reduzindo significativamente a sua resistência ou destruindo-a completamente. Os projéteis alocados no interior da rocha, ao oxidarem, contribuíram igualmente para a degradação do material pétreo. Nas perfurações poder-se-ão ainda, desenvolver outros tipos de decaimento, como é o caso de crostas negras (Smith & Mcgreevy, 2004)

3.3.11 - Deformação



Termo genérico que se aplica a qualquer transformação traduzida pela variação da distância entre pontos do corpo considerado (Henriques et al., 2005).

3.3.12 - Degradação diferencial



A degradação pode traduzir-se como a modificação do material que implica, sempre, uma deterioração das suas caraterísticas, sob o ponto de vista conservativo.

A degradação superficial está relacionada com a heterogeneidade da composição ou da estrutura dos materiais, bem como, frequentemente, com os motivos texturais ou estruturais originais (Araújo, 2003).

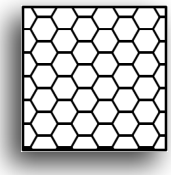


Figura 03.10 – Exemplo de perfuração provocada por bala – pequeno edifício, Baalbek quarry, Líbano (ICOMOS-ISCS, 2008)



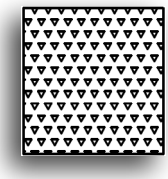
Figura 03.11 – Exemplo de deformação – Cemitério, Sélestat (Haut-Rhin), França (ICOMOS-ISCS, 2008)

3.3.13 - Depósito superficial



Camada resultante da acumulação de materiais estranhos, de natureza diversa, na superfície, tais como poeiras, sujidades, microrganismos, etc. Têm espessuras variáveis, geralmente pouco aderente e de fraca coesão (Araújo, 2003 e Henriques et al., 2005).

3.3.14 - Desagregação granular



Perda de coesão que se traduz pelo fácil destaque de partículas de dimensão da areia mesmo com esforços mecânicos de fraca intensidade. Comportam uma sensível deterioração das caraterísticas mecânicas originais e um notável aumento da porosidade (Araújo, 2003 e Henriques et al., 2005).



Figura 03.12 – Exemplo de depósito superficial – Sé do Porto (ICOMOS-ISCS, 2008)



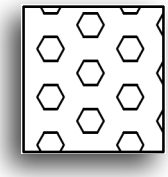
Figura 03.13 – Exemplo de desagregação granular – muralha Sul do Castelo de Marialva

3.3.15 - Eflorescência

Formação de agregados cristalinos superficiais, geralmente de fraca coesão e cor clara. Se a formação ocorrer abaixo da superfície, provocando empolamentos ou destaques, designa-se por criptoflorescência (ou subeflorescência).

Se uma alvenaria que esteja contaminada com sais for molhada e depois secar muito lentamente, esses sais podem ser dissolvidos, trazidos para a superfície e precipitados por evaporação, produzindo uma típica eflorescência salina de cor branca. As eflorescências também se podem formar através de outros processos, por exemplo, onde a água do solo que contém sais, subir por capilaridade através da alvenaria. A cristalização dos sais na superfície e perto dela podem resultar, eventualmente, numa desintegração granular se a pedra for suscetível à degradação ambiental salina (Henriques et al., 2005 e Smith & Mcgreevy, 2004).

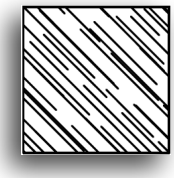
3.3.16 - Empolamento



Degradação que aparece sob a forma de ampolas e de bolhas à superfície da rocha. Precede a escamação que é um estádio mais avançado de alteração. Elevação superficial e localizada do material que assume forma e consistência variável.

Por exemplo, a formação de uma capa exterior de pedra endurecida no calcário pode fazer com que a camada superficial expanda e contraia numa proporção diferente da pedra subjacente, quando é aquecida e arrefecida (Aires-Barros, 2001 e Smith & Mcgreevy, 2004).

3.3.17 - Erosão



Termo genérico caraterizado pela perda de massa na superfície do material. Frequentemente assume uma morfologia contrastante com zonas vizinhas, designando-se então por erosão diferencial. Quando as causas da erosão são mecânicas diz-se abrasão ou corrosão, e quando são químicas ou biológicas diz-se corrosão. De uma forma genérica pode-se definir como a remoção de material consequente de processos químicos ou biológicos (alveolização, corrosão, desagregação, pulverização) (Aires-Barros, 2001 e Henriques et al., 2005).



Figura 03.14 – Exemplo de eflorescência – Coluna interior nas antigas instalações da Câmara Municipal de Pinhel - Guarda

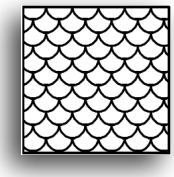


Figura 03.15 – Exemplo de empolamento - Catedral, Lausanne, Suíça (ICOMOS-ISCS, 2008)



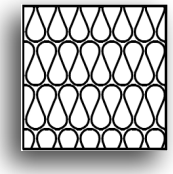
Figura 03.16 – Exemplo de erosão com perda de massa - Catedral, Rouen, França (ICOMOS-ISCS, 2008)

3.3.18 - Escamação ou Descamação



Destaque total ou parcial de escamas (fragmentos achatados com extensão reduzida e espessura inferior a 0,5 cm), paralelas à superfície da pedra e independentes da sua estrutura petrográfica. Normalmente existe uma zona pulverulenta ou arenosa, de espessura variável entre a rocha sã e a escama. Estas, quando caem, arrastam pó (Aires-Barros, 2001 e Henriques et al., 2005).

3.3.19 - Esfoliação



Degradação que se manifesta com um levantamento seguido por destacamento, de uma ou mais camadas superficiais finas, paralelas entre si, ditas folhas. Cada folha tem uma espessura uniforme e são constituídas quer por material aparentemente íntegro, quer por material alterado (Araújo, 2003).

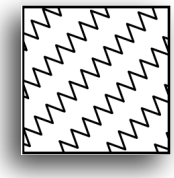


Figura 03.17 – Exemplo de escamação – Jardim da Cidade, Castelo Branco



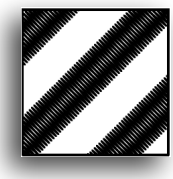
Figura 03.18 – Exemplo de esfoliação – Catedral, Zeitz, Alemanha (ICOMOS-ISCS, 2008)

3.3.20 - Fissura



Degradação que se manifesta pela formação de soluções de continuidade nas rochas, curtas, finas, com desenvolvimento discreto, nunca abertas e nunca atingindo os limites dos corpos considerados. É um caso particular de fratura em que pelo menos uma das extremidades não atinja o contorno do objeto em questão (Aires-Barros, 2001 e Henriques et al., 2005).

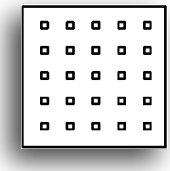
3.3.21 - Fratura



Superfície de rotura que divide o objeto em partes distintas, podendo implicar o afastamento recíproco das partes fraturadas.

As fraturas podem ter sido provocadas por uma mão-de-obra deficiente ou por um mau projeto. Por exemplo, em edifícios antigos podem ter sido usadas pedras recolhidas nos campos, em vez de exploradas recentemente numa pedreira. Estas pedras têm uma história de exposição ao ambiente e podem conter fraturas incipientes que passam a ser potenciadas. A fratura também pode derivar de uma carga irregular sobre a pedra, ou da corrosão e expansão de fixações metálicas. Estes danos, quando estão visíveis, devem ser encarados muito seriamente, já que podem ter implicações estruturais para a edificação (Aires-Barros, 2001 e Smith & Mcgreevy, 2004).

3.3.22 - Fragmentação – esboramento



É a desintegração da rocha em fragmentos mais ou menos coesos, de dimensões superiores às dos grãos de areia (grãos policristalinos de diâmetro médio superior a 2 mm) (Aires-Barros, 2001).

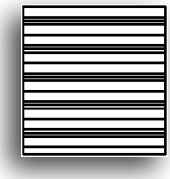


Figura 03.19 – Paramento com silhares fissurados – Alçado Oeste da Torre de menagem do Castelo de Marialva



Figura 03.20 – Exemplo de fratura de base de coluna – Mosteiro de Alcobaça

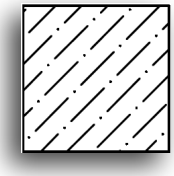
3.3.23 - Incrustração



É a formação de depósitos superficiais gerados sobre a rocha e resultantes quer da transformação das suas propriedades em relação às zonas internas (crostas), quer de acumulação de materiais estranhos à rocha (concreção e pátina).

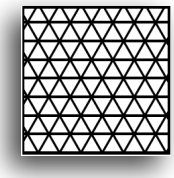
Os depósitos caraterizam-se por terem uma certa extensão, compactos e geralmente muito aderentes ao substrato, compostos por substâncias inorgânicas ou de natureza biológica (Araújo, 2003 e Aires-Barros, 2001).

3.3.24 - Junta aberta



Zona de descontinuidade entre dois elementos com perda de material de refechamento utilizado. Esta patologia está normalmente associada a movimentos estruturais ou à erosão do material (Henriques et al., 2005).

3.3.25 - Lacuna



Lacuna pode-se definir como simplesmente a ausência de material resultante da queda ou perda (Henriques et al., 2005).



Figura 03.21 – Exemplo de incrustração – Jardim da Cidade, Castelo Branco

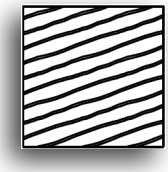


Figura 03.22 – Exemplo de junta aberta – Porta de Santa Maria, Castelo de Marialva



Figura 03.23 – Exemplo de lacuna – Alçado Oeste Torre de Menagem - Castelo de Marialva

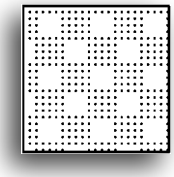
3.3.26 - Lascagem



É a separação da rocha em lascas (scales) com alguns centímetros de espessura, paralelas à superfície da rocha e devidas, sobretudo, à insolação e a fortes variações de temperatura. As lascas são constituídas geralmente por materiais com aparência inalterada. Por baixo delas podem existir eflorescências e microrganismos.

Se a espessura das lascas forem superiores a 5 mm, poder-se-á dar o nome de delaminação (Aires-Barros, 2001 e Araújo, 2003 e Smith & Mcgreevy, 2004).

3.3.27 - Mancha



Alteração cromática da rocha numa zona circunscrita e contrastante com as zonas vizinhas. Trata-se de uma alteração que se manifesta pela pigmentação acidental e localizada da superfície da rocha. Surge normalmente, devido à presença de materiais estranhos ao substrato, como por exemplo: ferrugem; sais; vernizes; substâncias orgânicas, etc. (Aires-Barros, 2001 e Henriques et al., 2005).

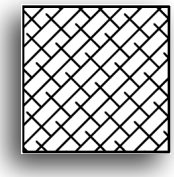


Figura 03.24 – Exemplo de lascagem – Igreja da abadia, Bouzonville (Moselle), França (ICOMOS-ISCS, 2008)



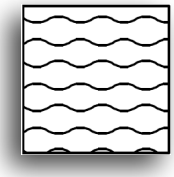
Figura 03.25 – Exemplo de manchas – Catedral, Chartres, França (ICOMOS-ISCS, 2008)

3.3.28 - Pátina



É o aspeto da rocha após envelhecimento natural. Alteração estritamente limitada às modificações naturais das superfícies dos materiais não atribuíveis a fenómenos de degradação e perceptíveis como uma variação da cor original da rocha. Este termo só deve ser usado quando não for possível atribuir os termos crosta ou depósito superficial. Como assume a forma de variações cromáticas em relação ao estado inicial, pode ser, por isso, útil como contributo para a identificação de superfícies de referência. No caso de alterações artificiais, usa-se preferencialmente o termo "patinação" (Aires-Barros, 2001 e Henriques et al., 2005).

3.3.29 - Película



Camada superficial de substâncias coerentes e estranhas aos materiais pétreos subjacentes. Trata-se de um depósito superficial de pequena espessura e grande continuidade lateral e, que pode arrancar-se, deslocar-se ou destacar-se do substrato que, em geral, se apresenta íntegro (Aires-Barros, 2001 e Henriques et al., 2005).

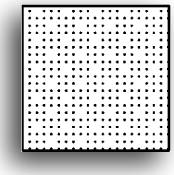


Figura 03.26 – Exemplo de envelhecimento natural da pedra – pequeno edifício na cidade de Guarda



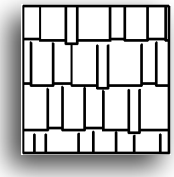
Figura 03.27 – Exemplo de película (Henriques et al., 2005)

3.3.30 - Picadura ou Picamento



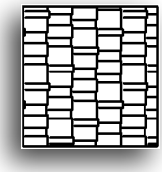
Degradação puntiforme que se manifesta pela formação de numerosos furos que têm, tendencialmente, a forma cilíndrica com diâmetro máximo de poucos milímetros. Esta degradação ocorre especialmente em ambientes secos, ou nas áreas abrigadas de climas mais húmidos, sendo vulgar ver-se a perfuração das superfícies do calcário (Smith & Mcgreevy, 2004 e Henriques et al., 2005).

3.3.31 - Placa



Destacamento de fragmentos de rocha achatados, paralelos à superfície, com grande extensão lateral e espessura variável superior a meio centímetro (Henriques et al., 2005).

3.3.32 - Plaqueta



Destacamento de fragmentos de rocha achatados, paralelos à superfície, com grande extensão lateral e espessura inferior a meio centímetro (Henriques et al., 2005).



Figura 03.28 – Exemplo de picadura severa causada por líquenes – Castelo Culzean, Ayrshire, Escócia (NSI, 2004)

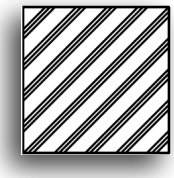


Figura 03.29 – Exemplo de placas – Alçado Este da Torre de Menagem, Castelo de Marialva



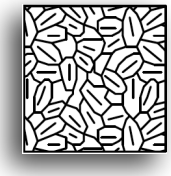
Figura 03.30 – Exemplo de plaquetas – Alçado Sul do Edifício da Reitoria, UBI, Covilhã

3.3.33 - Pulverização



Degradação que se manifesta pela perda de coesão da superfície e que conduz ao desprendimento de material, por vezes espontâneo, sob a forma de pó ou grânulos (Henriques, 2005).

3.3.34 - Vegetação



Presença de manifestações biológicas do tipo dos musgos e plantas de ordem superior. A vegetação pode conseguir colonizar áreas abrigadas por crescimento das suas raízes através das juntas e das fraturas. Conforme estas raízes crescem, elas podem alargar as ditas juntas e fraturas, forçando as pedras a se afastarem. Elas também podem encorajar a humidade, a qual potencia outros processos de decaimento (Smith & Mcgreevy, 2004 e Henriques, 2005).



Figura 03.31 – Exemplo de abertura de junta entre silhares, por consequência da presença de vegetação superior – Muralhas de Almeida

4 – Metodologias, Intervenção e suas Consequências

A conservação dos edifícios históricos e, muito em particular do caso da pedra, foi sempre uma preocupação desde os tempos mais remotos. No entanto, a conservação nem sempre foi entendida como nos nossos dias.

São hoje ainda visíveis, em muitos monumentos por todo o mundo, ações de conservação em que os critérios usados nas metodologias de intervenção eram definidos consoante a mentalidade da época ou do lugar, com remoção de elementos originais, os quais, não estariam de acordo com a corrente arquitetónica ou artística da altura, com a substituição de componentes ainda em bom estado de conservação, mas que, para a nova função de uso, não seriam adequados, entre variadíssimas outras situações, em que foi removida para sempre a história, visível, do monumento e mesmo da região.

No nosso país, encontram-se vários monumentos de arquitetura militar, com as ameias inseridas nas suas estruturas, embora em muitos registos de obras do século passado, se possa verificar que esses elementos foram aí inseridos, durante a intervenção, pois com eles, o monumento (castelo) tornava-se mais imponente e mais semelhante a uma imagem pré-concebida de estrutura militar, não havendo a preocupação de se saber se esses elementos existiriam na sua origem.

4.1 - Cartas, Convenções e Recomendações

Foi no século XIX, com o desenvolvimento industrial, que ocorreu uma maior sensibilização para os problemas da degradação a que os materiais pétreos estavam sujeitos. Nesta época, surgiram então diferentes correntes de pensamento, no que diz respeito à definição de conservação e recuperação de elementos históricos. Uma das correntes, encabeçada pelo arquiteto francês, ligado à arquitetura revivalista do século XIX, Eugène Emannuel Viollet-le-Duc (1814/1879), o qual defendia que as obras teriam que se reconstruir e completar, mesmo eliminando partes originais, se tal contribuísse para um maior embelezamento da obra. Em oposição, existiam os partidários da mínima intervenção sobre os monumentos degradados, seguidores de Ruskin e membros da S.P.A.B. (Society for the Preservation of Ancient Buildings, fundada em 1877 em Inglaterra), os quais defendiam que se deveria conservar até a ruína, pois esta era transmissora da essência e da mensagem do próprio edifício (Godos, 1995), (Pinto, 1997).

Foi à segunda corrente que se deve o atual conceito de conservação, dando origem aos critérios de conservação e intervenção, consignados na Carta de Atenas de 1931.

A partir desta altura, foram aperfeiçoados os documentos e tratados sobre métodos, técnicas e produtos a utilizar na conservação, como é o caso da Itália, que no ano de 1932, publica a Carta Italiana de Restauro, a qual serviu de referência para o maior parte dos países europeus.

A grande necessidade de conservar, surgiu após a Segunda Grande Guerra, em que muitos estados apresentaram programas e projetos de recuperação dos seus edifícios, onde foram previstas as limpezas dos materiais pétreos, mas nem sempre através dos métodos mais indicados (jatos de areia). Começaram-se, igualmente, a usar consolidantes e protetores, entre os quais se destacam os que na sua composição continham grandes quantidades de silício, que se julgava na época, que a sua aplicação melhorava o material e o tornava mais resistente. Como se estava numa época de economia crescente e a indústria em franco desenvolvimento, não se fez tardar as inúmeras "receitas" industriais, com as mais variadas combinações de produtos, mais ou menos milagrosos, por forma a atingir os diferentes fins (Godos, 1995).

A Carta Internacional Sobre a Conservação e Restauro de Monumentos e Sítios de 1964, mais conhecida por Carta de Veneza, ainda hoje uma referência mundial na conservação do património, veio reforçar as recomendações já referidas na sua antecessora (Carta de Atenas de 1931), definir novas regras de conservação para os monumentos e sítios, uma vez que, a degradação dos materiais pétreos evoluía à mesma proporção do desenvolvimento industrial, causador de agentes atmosféricos nocivos aos materiais, bem como, responsável da aplicação de produtos inadequados, com o intuito de combater decaimentos provocados pela sua própria poluição. Este documento, mostra também uma grande preocupação, não só no que diz respeito aos materiais utilizados, mas também, às técnicas e metodologias adoptadas em grande parte das intervenções.

Tendo a Carta de Veneza traçado as linhas orientadoras para a intervenção em monumentos e sítios, surgiu em 1972 a Carta Italiana de Restauro, na qual são definidas de uma forma objetiva, as formas de intervir no que diz respeito, principalmente, a limpezas, consolidação e proteção dos diversos materiais constituintes dos monumentos.

Após os sismos destruidores de Friuli e da Campânia, Basilicata, em Itália, surge igualmente a necessidade de elaborar um documento que uniformizasse as regras de intervenção no património localizado em zonas sísmicas. Foram então em 1986, elaboradas as Recomendações de Intervenção em Monumentos em Zonas Sísmicas, o qual sugere várias

técnicas e metodologias, fundamentalmente estruturais, de intervenção neste tipo de estruturas.

Havendo uma maior preocupação pelos diversos estados na conservação do seu património, começaram a surgir incentivos, ajudas e comparticipações a este tipo de intervenção, mas consequentemente verificou-se igualmente um crescente desenvolvimento de técnicas e metodologias de intervenção, muitas vezes, não muito indicadas e com consequências irreversíveis para o monumento e consequentemente para a sua história.

Em 2000 foi publicada a Carta de Cracóvia, a qual define os princípios para a conservação e o restauro do património construído, na qual se destaca o reforço das ideias já enunciadas na Carta de Veneza, mas também, realça a necessidade de investigar, inspecionar, controlar, acompanhar e provar que as metodologias a aplicar, são as adequadas para a situação que se pretende corrigir (Neto, 2002).

Sendo estas as principais publicações internacionais relacionadas com a conservação do património construído, existem inúmeros documentos onde se faz referência à preocupação de "bem" conservar, no entanto, continuam a aparecer produtos inorgânicos, como os fluorsilicatos e derivados do petróleo, para tratar a degradação dos materiais. O uso do cimento Portland, foi usado e continua a ser usado (infelizmente), na suposta conservação de elementos pétreos, em refechamento de juntas, reforços na consolidação, colagem de elementos soltos e revestimentos de paramentos "*in-situ*".

4.2 – Métodos de Conservação e Restauro de Pedras em Monumentos

Pretende-se, fundamentalmente, com uma ação de conservação, prolongar a vida de um objeto, ou no mínimo, que ela não seja reduzida, através da interrupção, ou pelo menos, da redução de intensidade dos processos de alteração a que está sujeita, bem como, na prevenção de novas manifestações.

Antes de se elaborar uma proposta de conservação, torna-se necessário conhecer o objeto a conservar, as condições ambientais às quais está sujeito e o historial de intervenções de conservação já realizadas (Pinto, 1997).

Como já foi referido no capítulo anterior, muitos são os agentes e mecanismos geradores de provocar ou acelerar as ações patológicas nos materiais pétreos. Pelo que, e segundo Pinho

(1996), numa ação de conservação poder-se-á optar por dois caminhos, os quais não se excluem um ao outro: a intervenção sobre o ambiente, do qual o objeto é rodeado e, a intervenção no próprio objeto.

A primeira possibilidade corresponde, por exemplo, dependendo dos agentes e mecanismos atuantes, a mudanças microclimáticas a que o material está exposto, no caso particular de espaços interiores, desvio de trânsito de veículos por forma a minimizar as vibrações e os agentes poluidores na sua proximidade, execução de redes de drenagem de águas pluviais de modo a minimizar o contato deste elemento com o material, incluir sistema de afastamento de aves, no caso particular dos pombos cujos dejetos provocam graves problemas patológicos, etc.

Na intervenção sobre o próprio objeto, dever-se-ão adoptar medidas que contribuam para reduzir ou eliminar as causas dos processos de alteração, bem como, melhorar ou restabelecer a sua funcionalidade.

Não parece possível conseguir uma intervenção de conservação eficaz, se não se tiver em conta as duas possibilidades atrás descritas, uma vez que, muito dificilmente se conseguirá "parar" a degradação de um material atuando somente no objeto ou no ambiente que o rodeia. Em muitas intervenções, a tendência é tratar somente a anomalia verificada, por razões práticas ou económicas.

Independentemente do tipo de intervenção, qualquer ação de conservação sobre o ambiente ou elemento de um edifício histórico deve ser reduzida ao mínimo, indo ao encontro do estipulado nas Recomendações, Cartas e Convenções Internacionais, uma vez que, qualquer ação envolve "perda", em termos culturais e históricos, mesmo que seja justificada pelo objetivo de o preservar para o futuro (Pinto, 1997).

Existem alguns princípios mínimos, que devem ser levados em conta em qualquer ação de conservação e que, o não cumprimento de qualquer um deles, poderá por em risco essa ação. Esses princípios de intervenção estão explanados nos documentos internacionais já referidos, em que se salientam os seguintes:

- Ser reversível;
- Não prejudicar uma eventual intervenção futura;
- Não impossibilitar o posterior acesso a qualquer elemento incorporado no objeto;
- Permitir a manutenção da maior quantidade possível de material original;

- Não originar variações de aspeto visual no objeto;
- Ser claramente documentada;
- Manter todas as evidências históricas, não as destruindo, falsificando ou removendo;
- Ser reduzida ao mínimo necessário.

Castro (2001) referiu, com base no "Grupo de Trabalho de Tratamentos de Pedra" (ligado ao ICOM, ao ICOMOS e ao ICCROM) de 1971, na reunião de Bolonha, a classificação de tratamentos de conservação dos materiais pétreos em três grupos: limpeza, consolidação e proteção.

Godos (1995) e Pinto (1997), agruparam em seis categorias principais as intervenções de conservação sobre as pedras, são elas: limpeza, consolidação, proteção, colagem, reparação e substituição.

De seguida, descrever-se-ão os principais métodos utilizados dentro das categorias referidas. Não é objetivo deste capítulo validar cientificamente todas as metodologias apresentadas, o que seria um trabalho para várias equipas de investigação ao longo de vários anos, mas sim, com base em produção científica já elaborada, recolher as conclusões geradas, analisá-las e adaptá-las mediante os dados recolhidos neste trabalho.

Embora existam várias publicações científicas sobre as metodologias a aplicar na conservação dos materiais pétreos em monumentos, descrever-se-ão as referenciadas para este tipo de intervenção, tendo por base (Godos, 1995), (Pinto, 1997), (Castro, 2001) e (Aires-Barros, 2001), uma vez que, estes autores tiveram como base dos seus trabalhos, a maior parte das referências bibliográficas europeias sobre o tema em questão.

ICOM – International Committee of Museums
ICOMOS – International Committee of Monuments and Sites
ICCROM – International Center for Conservation - Rome

4.2.1 – Limpeza

Uma operação de limpeza tem como objetivos, devolver a leitura original do material e recuperar o seu significado, no que diz respeito à sua importância cultural e artística, bem como, libertar as superfícies de todas as substâncias estranhas nelas aderentes (Godos, 1995).

A opção de limpar, deve ser encarada com muita delicadeza, uma vez que, é uma operação irreversível e se mal executada, através de métodos inadequados, pode danificar de for irrecuperável o material pétreo (Godos, 1995).

A execução de uma operação de limpeza, independentemente do método usado, não é unânime entre os conservadores e técnicos da área, uma vez que, existem opiniões diferentes sobre as vantagens e desvantagens de se proceder a este tipo de intervenção, segundo Aires-Barros (2001) esses argumentos são:

Argumentos a favor da limpeza dos monumentos

A camada negra de sujidade que recobre a pedra é ela própria considerada nefasta porque:

- Acentua o efeito de variação térmica e ao deformar-se poderá arrancar fragmentos de rocha;
- Mantém *"in situ"* os poluentes e os produtos de alteração que, sob o efeito de variações higrométricas, aceleram o processo de alteração.

Argumentos contra a limpeza dos monumentos

- As sujidades constituem uma proteção;
- Nos locais muito poluídos, as sujidades reaparecem rapidamente pelo que terá que haver uma continuidade na intervenção;
- A patina tem uma "história" a preservar, sendo indesejável dar um aspeto "demasiado novo" aos monumentos limpos;
- Consequências das operações de limpeza como a absorção de excesso de água pela rocha, perda de material superficial ainda em boas condições de conservação, poderão gerar novas patologias ou agravar as existentes.

Quando a pedra se encontra degradada, independentemente do seu nível de degradação, ou com situações patológicas visíveis e, por alguma razão, se torna necessário proceder a uma

limpeza, qualquer intervenção deste tipo deverá ser precedida de uma intervenção de consolidação, a qual, irá condicionar a escolha do método de limpeza.

Aires-Barros (2001) referencia Lazzarini & Tabasso (1981), nos que diz respeito aos critérios que devem presidir às operações de limpeza. Eles são:

1. O processo de limpeza deve poder ser controlável em todas as suas fases; deve ser gradativo e seletivo;
2. O processo de limpeza não deve originar materiais perigosos para a conservação da pedra (v.g., sais solúveis);
3. O processo de limpeza não deve originar modificações nas superfícies limpas (v.g., microfissuras e abrasões) que possam acelerar o processo degradativo.

Castro (2001) refere com base em Torraca (1976), que a escolha do processo de limpeza, deve ter em consideração o seguinte:

1. Ser possível graduar à vontade a ação de limpeza;
2. O processo de limpeza não deverá produzir materiais que possam causar futuras deteriorações (v.g., sais solúveis);
3. A superfície limpa deve ficar tanto quanto possível, lisa e isenta de fissuras ou outros defeitos que possam resultar na aceleração da taxa de meteorização.

Pelo que se pode verificar, ao longo dos anos e para diferentes autores, as preocupações relativas às limpezas, mantêm-se, bem como, as recomendações para este tipo de intervenção.

Descrever-se-ão de seguida os métodos correntes de limpeza, geralmente utilizados em monumentos, bem como, as suas possíveis consequências para o material pétreo.

4.2.1.1 – Técnicas físicas e mecânicas

Limpeza pela lavagem por escoamento superficial de água

Segundo Aires-Barros (2001), trata-se de um processo bastante usado na limpeza de sujidades em monumentos, que consiste no escoamento de água corrente sobre as superfícies a limpar, durante o tempo necessário ao amolecimento das camadas aderentes. Após esse amolecimento, procede-se à escovagem e lavagem para a remoção dos materiais "deslocados". Esta técnica, embora com custos relativamente reduzidos, traz algumas

desvantagens pela quantidade de água necessária, não sendo, normalmente, possível utilizá-la em espaços interiores. Utilizada no exterior, poderá causar infiltrações ou outros prejuízos para o material. A escovagem e lavagem, muitas vezes é realizada com ferramentas abrasivas, tal como escovas de aço ou projeção mecânica de partículas, o que irá danificar o material a ser limpo. Se já existir alguma degradação do material, esta técnica certamente, irá acelerar, ainda mais, o processo degradativo. Devido às desvantagens, julga-se ser uma técnica a não usar de forma corrente na limpeza de monumentos.

Limpeza por pulverização de água

Segundo Castro (2001), este método é prático, acessível e usado com frequência para eliminar depósitos ou crostas negras ligados por sais solúveis. Aires-Barros (2001) refere que neste caso, a água é pulverizada a uma pressão de 5 a 10 kg/cm^2, sobre os locais com sujidades, evitando a projeção direta, o que poderia ser prejudicial para o material. A água a ser pulverizada deve ser apenas a suficiente para conservar húmidos os depósitos de sujidades, uma vez que, maiores quantidades de água, não aumentam a eficácia do método. Esta operação deve ser realizada de cima para baixo, por forma a beneficiar do escorrimento nas zonas mais baixas. Recomenda-se que se façam períodos certos e repetidos e não poucos e longos e, entre cada período, devem ser analisados os resultados, por forma a verificar a necessidade da continuação da ação. A remoção das sujidades, após amolecimento, deve executar-se, tal como no caso anterior, por escovagem, usando escovas macias (v.g., escovas de nylon).

Este método não deve ser usado sempre que a temperatura ambiente proporcione o risco de formação de gelo, bem como, em rochas que contenham material argiloso ou alterado (Castro, 2001).

Limpeza por jato de vapor sob pressão

Consiste na projeção de um jato de vapor de água, a uma pressão de impacto que pode variar entre 0,5 e 1,0 kg/cm^2 (Aires-Barros, 2001) e uma temperatura de cerca de 170ºC (Godos, 1995). Mesmo com o vapor, não se consegue eliminar por si só as sujidades, tornando-se necessário proceder à escovagem, usando sempre escovas macias (Godos, 1995). Este método pode ser usado em pedras compactas e mesmo em calcários porosos sãos. É totalmente desaconselhável em pedras deterioradas e em zonas com juntas constituídas com argamassas à base de cal (Aires-Barros, 2001).

Limpeza com partículas abrasivas a seco

Trata-se de um método em que as partículas abrasivas de natureza diversa são projetadas, sob pressão, sobre a superfície a limpar (Aires-Barros, 2001). Neste método, torna-se

importante ter em consideração a natureza, o volume e a forma das partículas usadas na projeção, as quais convêm ser ligeiramente mais duras que o material a eliminar. Independentemente do material usado, recomenda-se o uso de granulometrias finas e esféricas, pois causam menos danos ao material pétreo. Existem algumas vantagens na utilização deste método, tais como, a rapidez da limpeza que o torna "apetecível" na utilização em grandes superfícies, como fachadas e grandes extensões de panos de paramentos, não provoca manchas, pode ser utilizado em qualquer época do ano e podem-se observar de imediato os resultados. Sobrepondo-se às vantagens descritas, existem inúmeras desvantagens que tornam este método indesejável na aplicação em monumentos ou obras artísticas, sobretudo se a pedra for branda, alterada ou existirem ornamentos finos, como por exemplo, a perda de partes relevantes da superfície tratada provocada pelo desgaste do embate das partículas, que pode ser de poucos milímetros em materiais considerados duros, mas de muitos mais em materiais brandos ou porosos; o desgaste desigual, dependendo da constituição dos diferentes materiais pétreos existentes na extensão a tratar; em pedras alteradas poderá provocar o aceleramento da alteração ou provocar outro(s) tipo(s) de situações patológicas, ou mesmo provocar a destruição do material, além de que, é um método de difícil controlo, tornando-se perigoso para o material e para o operador. Embora seja um método rápido e de baixo custo, mediante as desvantagens descritas, torna-se indesejável na limpeza de qualquer tipo de monumento, independentemente do seu estado de conservação (Godos, 1995).

Limpeza com partículas abrasivas com água

Consiste em projetar simultaneamente água e abrasivos (normalmente areia de rio) a uma pressão que pode variar entre 0,5 e 3,0 kg/cm^2. Neste método podem, e devem, ser controlados vários parâmetros, tais como: granulometria e dureza do abrasivo; relação água-abrasivo; pressão e distância de projeção (Aires-Barros, 2001). Esta ação, aparentemente, é menos prejudicial que o sistema a seco, uma vez que a água amortece o impacto das partículas sobre a pedra, bem como, a ação química da água ajuda a dissolver e a eliminar as crostas negras e os sais solúveis. Em certas situações este método, bem controlado, pode ser utilizado como forma de complementar os métodos atrás descritos, onde se utiliza a água como agente de limpeza. Como se usa água, não existe a formação de pó, minimizando assim os efeitos nefastos para os operadores, embora, pela mesma razão, este método tem todos os inconvenientes das metodologias que recorrem ao uso de água para as limpezas (Godos, 1995).

Limpeza com ferramentas mecânicas

Segundo Godos 1995), trata-se de um método de limpeza rápido em que são utilizadas ferramentas mecânicas, tais como: escovas rotativas, discos, cinzéis, escovas metálicas, etc. Esta metodologia, embora usualmente aplicada, não se recomenda para a limpeza de

monumentos, visto que, ficam, quase inevitavelmente gravadas na superfície do material pétreo, as marcas na passagem das ferramentas mecânicas, uma vez que é um método, no que diz respeito à precisão, muito pouco controlável. Este método tem ainda como inconveniente a grande formação de pó, pelo que os operadores necessitam das necessárias proteções.

Limpeza com ferramentas manuais

Segundo Aires-Barros (2001), normalmente é um método não usado em monumentos, salvo em situações muito particulares em zonas específicas de obras artísticas, ou como complemento a outras operações de limpeza, como por exemplo a escovagem com recurso a escovas de nylon após amolecimento das sujidades através de pulverização de água.

Limpeza com micro-jato de precisão de partículas abrasivas

Consiste numa metodologia em que é usado um equipamento, que em italiano se denomina micro sabiatrice, o qual é constituído por um compressor e um reservatório (em limpezas interiores, contém ainda um aspirador de partículas), no qual são inseridas partículas abrasivas muito finas. Estas são constituídas, geralmente, por pós finos de alumina, microesferas de vidro ou pó vegetal, em que a sua escolha está dependente do tipo de material a ser removido e do tipo de superfície a tratar (Godos, 1995). A projeção da mistura ar-abrasivo atinge as superfícies numa área muito limitada (alguns mm^2) e a pressão do compressor é constantemente controlada, o que faz deste método indicado na utilização em rochas brandas ou alteradas. Podem-se, inclusivamente, limpar materiais muito alterados sem se proceder a uma prévia consolidação (Aires-Barros, 2001). No entanto, tem as desvantagem de ser um método caro e moroso, em que os equipamentos se avariam com muita frequência e, onde não se recupera o material abrasivo utilizado. Como nos restantes métodos que usam partículas abrasivas, os operadores terão de utilizar os necessários equipamentos de proteção (Godos, 1995). Este método foi aplicado, com bastante bons resultados, nas Catedrais de S. Petronio (em Bolonha) e de Ferrara, em que foi utilizado para remover depósitos que resistiram a técnicas de limpeza utilizando pastas (Castro, 2001).

Pelo que foi referido, este método é indicado, preferencialmente, para utilização em pedras alteradas, obras artísticas degradadas e de complemento a outros métodos de limpeza, uma vez que se trata de uma metodologia muito cara e morosa, não sendo economicamente viável o seu uso em todas as superfícies do monumento a limpar.

Limpeza por chama

Segundo Castro (2001), consiste na utilização de um maçarico ou incendiando um combustível líquido sobre a superfície da pedra. Nesta situação, devido às altas temperaturas aplicadas e pela diferença de coeficiente de dilatação entre a pedra e o material a remover, as crostas são destacadas naturalmente da superfície do material pétreo. Este método não é recomendado em nenhuma situação de limpeza em monumentos, uma vez que, o material, mesmo são, pode ser degradado e/ou criar condições para o aparecimento de situações patológicas, além de ser um método considerado perigoso.

Limpeza com ultra-sons

Segundo Aires-Barros (2001), neste tipo de limpeza são usados aparelhos cujo o funcionamento é muito semelhante aos usados em estomatologia, em que, neste caso, as incrustações são destacadas, incluindo as mais espessas, sem ação mecânica direta, mas através da indução de pequenas vibrações transmitidas por um micro-pulverizador de água contínuo. Este método tem a grande vantagem de permitir operações minuciosas e precisas, não atacando diretamente o substrato. Pode ser usado na maioria das situações, incluindo em pedras degradadas. Godos (1995) refere que embora seja um método bastante eficaz, tem a desvantagem de ser um processo lento, pelo que só se torna viável utilizá-lo de forma pontual. Por se tratar de uma metodologia altamente especializada, requer uma mão-de-obra bastante experiente e com formação adequada.

Limpeza com laser

Este método permite realizar uma limpeza extremamente seletiva e muito controlada, a qual é obtida por ação física, mas não química ou mecânica. A base de funcionamento consiste, como em qualquer outra aplicação com esta tecnologia (laser), em produzir radiações luminosas muito energéticas, as quais podem reagir de maneiras diferentes com os materiais (Godos, 1995). É uma tecnologia em franco desenvolvimento, sendo considerada das mais eficazes para a remoção de sujidades sem "atacar" o suporte. Independentemente do fornecedor do aparelho, e tendo como base os estudos realizados no LRMH (Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques) de França, o princípio de funcionamento desta tecnologia consiste, fundamentalmente, no controlo e adaptação das intensidades luminosas. Para um sistema de laser portátil Nd YAG (laser de granada rica de neodímio, ítrio e alumínio), considera-se como adequadas as seguintes intensidades luminosas: de 105 a 107 W/cm^2 para uma interação de natureza termoelástica; de 107 a 108 W/cm^2 para uma interação de fotoablação e de 108 a 112 W/cm^2 para uma interação de choque. No entanto, a partir de intensidades luminosas superiores a 109 W/cm^2, o choque pode modificar a superfície do suporte, usando-se este valor como o limite superior de intensidade a aplicar na limpeza de pedras constituintes de um monumento. Atualmente, apesar de ser um dos

métodos mais eficazes para a limpeza de materiais pétreos alterados ou degradados, devido aos seus elevados custos de aplicação, tendo em conta a tecnologia aplicada e o seu rendimento, não se torna um método indicado para a limpeza de grandes superfícies (Aires-Barros, 2001).

Limpeza com pastas de argilas absorventes

Segundo Castro (2001) este método consiste na aplicação, sobre o material a limpar, de uma pasta composta por argilas, as quais têm capacidades de grande absorção, normalmente a atapulgite e a sepiolite, que quimicamente são silicatos de alumínio e magnésio, e água destilada ou desionizada. A pasta é aplicada com recurso a espátula de madeira ou de plástico, podendo mesmo ser aplicada à mão, visto ser inofensiva, numa camada que ronda os 2 a 3 cm de espessura. Esta mistura tem como função humedecer durante um tempo estabelecido, dependente do tipo de sujidade a remover, a zona a tratar e, ao secar, vai absorver os sais e outras sujidades. Após a secagem, a pasta pode ser removida com ajuda de espátulas não metálicas e/ou escovas macias. No caso de sujidades muito aderentes ao suporte, pode haver a necessidade de manter a pasta húmida durante vários dias (40 a 60 dias), para tal, devem ser protegidas com finas camadas de plástico (polietileno).

Godos (1995) refere que este método tem a vantagem de não "atacar" o suporte, ser de baixo custo e poder ser empregue sobre qualquer tipo de rocha, com exceção das muito porosas, embora tenha o inconveniente de ser um processo muito demorado, não ter resultados satisfatórios sobre crostas negras, além de que, pode ocasionar o desenvolvimento de bactérias e algas, pelo que se torna necessário, após a limpeza, proceder a uma desinfeção.

Limpeza com pastas gelatinosas dissolventes

Segundo Castro (2001), uma das pastas gelatinosas mais aplicadas e conhecidas é a AB57, a qual foi criada e é amplamente usada pelo IRC de Itália (Instituto Centrale per il Restauro), a qual tem a seguinte constituição:

Água	1000 cm^3
Bicarbonato de amónio	30 g
Bicarbonato de sódio	50 g
EDTA (sal dissódico)	25 g
Tensioactivo fungicida	10 cm^3
Carboximetilcelulose	60 g

Sendo esta a fórmula original, existem algumas variações, dependendo do tipo de sujidade a remover, por exemplo, se for necessário eliminar substâncias gordurosas pode-se juntar um pouco de amoníaco, ou pode-se aumentar o EDTA e diminuir o bicarbonato de sódio, para

reduzir os resíduos sódicos sobre a pedra. Na adaptação da fórmula terá que se ter o especial cuidado com a alteração do pH, pois com pH 8 a pasta poderá atacar os calcários (Godos, 1995).

No que diz respeito à sua aplicação, esta é em tudo semelhante ao método descrito anteriormente (pastas de argilas absorventes). A pasta é aplicada em camada espessa e o tempo de atuação deve ser experimentado em cada caso, podendo variar de 30 minutos a várias horas, dependendo do suporte e do material a ser removido. Se houver a necessidade de retardar a secagem da pasta, poderá cobrir-se com folhas de polietileno. Terminado o tempo de atuação, a pasta é retirada e a superfície lavada, de preferência, com água destilada ou desionizada. Esta pasta é fácil de usar e controlar, rápida no que diz respeito à aplicação, à atuação e é económica, embora não seja muito adequada quando as superfícies se encontram muito alteradas, sejam muito porosas ou quando seja difícil eliminar a pasta (Castro, 2001).

Limpeza utilizando solventes orgânicos

Segundo Aires-Barros (2001), tem sido comum a utilização de solventes orgânicos na remoção de ceras e outros produtos afins. Os solventes normalmente utilizados são a acetona e o cloreto de metileno, embora existam no mercado composições pré-feitas de vários solventes para este tipo de utilização. Nas situações onde vão ser aplicadas pastas para remoção de sujidades, usam-se este tipo de solventes como pré-limpeza.

Limpeza utilizando produtos ácidos e/ou álcalis

Tem sido comum, principalmente em situações de difícil limpeza, o recurso a este tipo de substâncias, entre elas as mais comuns são: ácido clorídrico; ácido nítrico; ácido fluorídrico; ácido sulfúrico; bifluoreto de amónio; soda e potassa cáusticas e amoníaco, as quais são praticamente desaconselháveis como método de limpeza em monumentos (Aires-Barros, 2001). Embora o tempo de atuação deste produtos seja muito breve, apenas alguns minutos e, apesar de se lavar logo de seguida com água abundante, ficam sempre resíduos sobre o material, potenciando a sua degradação. Em muitos casos, pouco tempo após o término da limpeza, é usual a formação de eflorescências salinas, o que obriga a outro tipo de intervenção para proceder à sua remoção, além de que, essas eflorecências podem-se formar em materiais adjacentes àqueles onde foram aplicados os produtos, como é o caso de mosaicos e azulejos. Em locais onde existam vitrais, este método é completamente desaconselhável, uma vez que, estes produtos atacam de forma irreversível estes elementos (Godos, 1995). Realçar ainda que, a maior parte dos produtos referidos não só são perigosos para os materiais, mas também, para os técnicos que os aplicam (Castro, 2001).

4.2.1.2 - Casos especiais

Limpeza de "graffiti"

Hoje em dia, muitos consideram um graffiti uma forma de expressão incluída no âmbito das artes visuais, mas quando são executados em paramentos pertencentes a um qualquer edifício histórico, essa "obra de arte" deverá ser removida, independentemente do seu valor. A principal dificuldade passa pela eliminação das tintas com que os graffitis foram executados, uma vez que, essas podem ter várias origens. Segundo Aires-Barros (2001) torna-se, então, importante, numa primeira fase, perceber qual o tipo de tinta aplicada, a qual pode ter várias origens, tais como: tinta de lata; spray; caneta de feltro, esferográfica, etc. Todas têm uma composição química diferente, o que poderá condicionar a escolha do tipo de solvente a utilizar. O tipo de rocha onde foi aplicado, o seu estado de alteração e o tipo de acabamento (liso ou rugoso), são outros fatores a ter em conta quando da escolha do tipo de solvente a aplicar. Aconselha-se então, numa primeira fase, começar por uma lavagem com água e um detergente. Após essa lavagem, dependendo dos resultados obtidos, escolher-se-á o solvente mais indicado para a situação. Existem no mercado produtos decapantes de tintas das inscrições, que podem ser usados e com resultados bastantes satisfatórios, os quais contêm, normalmente, solventes orgânicos (v.g. cloreto de metileno), agentes emulsionantes e espessantes que facilitam a sua aplicação. Esta aplicação deverá ser sempre ensaiada numa pequena área, por forma a verificar os resultados. Segundo Castro (2001), os solventes aconselhados para os casos mais complicados são: "white spirit"; ligroína; nafta; xileno; álcool etílico e isopropílico; acetona; metiletilcetona e metilisobutilcetona e cloreto de metileno. No caso de rochas porosas é aconselhável a aplicação de "white spirit"; xileno; diluentes célulaicos ou cloreto de metileno. Godos (1995) refere que após a atuação do solvente, os pigmentos de tinta deverão ser removidos através de lavagem com água e, normalmente, associada a escovagem mais ou menos intensa, dependendo do tipo de tinta. Nas superfícies mais amplas e lisas, tem sido comum, usar-se a limpeza através de jato de partículas abrasivas, com ou sem água. Solução que não parece ser a mais indicada, uma vez que, pode provocar a erosão da superfície e consequentemente alterações do seu acabamento.

Limpeza de superfícies alteradas exibindo esfoliações e escamações

Segundo Godos (1995) nesta situação, não é de forma alguma aconselhável, proceder a qualquer intervenção de limpeza, independentemente do método utilizado. Antes deste tipo de intervenção, existe a necessidade de consolidar as partes a limpar do material pétreo. O tipo de consolidação e produtos a usar vão depender do tipo de alteração verificada, por norma, utilizam-se resinas consolidantes reversíveis, aplicadas com spray e com auxílio de instrumentos de teflon. Aires-Barros (2001) refere que, só após a consolidação e tendo em atenção a metodologia aplicada, se pode proceder à limpeza que, devido ao estado do material, é usual o recurso ao laser ou ao micro-jato de precisão de partículas abrasivas.

Limpeza de superfícies em pedra policroma

Segundo Godos (1995) trata-se de uma situação bastante delicada, em que o processo de limpeza a adotar, irá depender do tipo de policromia existente, bem como do seu estado de conservação. Em regra geral, usam-se processos de limpeza semelhantes aos utilizados no restauro de pinturas e de esculturas de madeira. Por se tratar de um tipo de intervenção extremamente específica, é aconselhável a presença de técnicos de conservação e restauro com conhecimentos profundos deste tipo de materiais. Não obstante, os métodos indicados anteriormente para a limpeza de pedras alteradas, em regra geral, poderão ser utilizados nestes casos, sem causar grandes danos.

Limpeza de manchas de ferrugem

As manchas de ferrugem são muito comuns nos materiais pétreos constituintes dos nossos monumentos, uma vez que, os grampos, gatos e demais sistemas de ligação e encaixe, eram executados em ferro e abundantemente utilizados. A alteração destes elementos dá origem a manchas de cor acastanhada devidas aos óxidos e hidróxidos libertados do ferro. Estas manchas, normalmente, são bastante difíceis de remover, sobretudo quando estão bastante profundas e num material poroso, embora se possam minimizar ou mesmo eliminar por completo, utilizando reativos químicos específicos, sem danificarem o material (Aires-Barros, 2001).

Segundo Godos (1995) para se proceder à limpeza deste tipo de manchas, deverá ter-se em atenção o tipo de rocha a limpar (silíciosa ou calcária). Nas rochas siliciosas é comum, para a eliminação deste tipo de manchas, a utilização de ácido fosfórico, fosfatos (normalmente fosfato de amónio) e citratos. Nos calcários, a situação é mais complicada, mas poder-se-á optar pelas seguintes soluções:

- Uma dissolução de fosfato de amónio com ácido fosfórico, resulta, mas terá que se ter em conta que, com muito pouco tempo de contato com o material pode causar alguma corrosão;
- O bifluor de amónio dissolvido em 1,5% de água é eficaz, se aplicado num tempo mínimo e protegendo vidros e cerâmicos adjacentes;
- A EDTA em solução amoniacal, tem-se revelado uma boa solução.

Limpeza de manchas de sais de cobre

Segundo Aires-Barros (2001), as manchas de cor verde provenientes da corrosão de peças em bronze (estátuas, placas, etc.), são menos frequentes que as de ferro e, geralmente, mais

fáceis de limpar. As técnicas de limpeza referidas anteriormente para as manchas de ferro, podem ser utilizadas com bons resultados. Aires-Barros (2001) e Godos (1995), referem que, se pode utilizar ainda, por exemplo, carbonato de amónio a 20% na água, ácido sulfanico a 10% na água ou a EDTA.

Limpeza de manchas de substâncias orgânicas

Foi muito comum, ao longo da história, a utilização de óleos, graxas e ceras, na suposta proteção dos materiais pétreos. Verificou-se então que esses "protetores", usualmente o óleo de linhaça, de nós e de castanha, bem como, os sebos provenientes dos animais, ao oxidarem, escureciam e alteravam o aspeto cromático original das rochas. Pelo que, se aconselha a não aplicação destas substâncias em elementos pétreos constituintes dos monumentos, bem como, a sua remoção através de limpeza adequada. As substâncias orgânicas podem ser removidas usando solventes como a butilamina e o trietanol e, no caso de manchas betuminosas, os solventes alifáticos, como é o caso das acetonas, são perfeitamente adequados (Aires-Barros, 2001).

Desinfestação de plantas superiores

Segundo Godos (1995), as plantas superiores que crescem nas juntas dos silhares dos monumentos, podem originar efeitos mecânicos e/ou químicos sobre o material pétreo, bem como, por em risco a sua estabilidade estrutural. Os efeitos mecânicos traduzem-se normalmente, pelo alargamento das juntas, levantamento de lajes e deslocamento de silhares, enquanto que os efeitos químicos, estão relacionados com os ácidos que segregam e atacam o material. Segundo Aires-Barros (2001), para a remoção deste tipo de vegetação poder-se-á recorrer a meios mecânicos ou a meios químicos, sendo muitas vezes a aplicação conjunta destes meios, a metodologia mais eficaz. A remoção mecânica, muitas vezes, é onerosa e demorada, além de que, em locais de difícil acesso, torna-se impossível a extração completa das raízes. A remoção química é efetuada através da aplicação de herbicidas, os quais não devem ser tóxicos para o homem e animais, não devem atacar culturas existentes (serem seletivos) e não devem atacar a rocha onde são aplicados. Para o mesmo autor (Aires-Barros, 2001), os produtos químicos adequados, são compostos neutros da triazina com baixa solubilidade na água (clorotriazina e metoxitriazina). Um exemplo de sucesso de remoção de vegetação superior, foi o aplicado na Estação Arqueológica de Tróia (Monteiro & Paixão, 2003), onde se aplicaram meios mecânicos (recorrendo a aparelhos de corte como motoserras, tesouras de corte e corta sebes, para remover as espécies lenhosas, antes da aplicação de produtos químicos) e meios químicos (através da aplicação de herbicidas sistémicos de absorção foliar, de técnicas de pulverização localizada e pincelagem). Um dos aspetos essenciais a ter em conta para a remoção deste tipo de vegetação, além de todos os já referidos, é a escolha de produto químico adequado às caraterísticas biológicas, pelo que se

aconselha, antes da sua escolha, o pedido de colaboração de técnicos especializados na área em questão.

Desinfestação de algas, musgos e líquenes

Estes tipos de organismos ao se implantarem na superfície das rochas, podem destruir as camadas superficiais destas, levando à sua degradação. Para a remoção deste tipo de organismos, são usualmente usados produtos químicos denominados de biocidas. Segundo Godos (1995), existem no mercado vários tipos de biocidas, cujos resultados após aplicação têm sido bastante satisfatórios, mas para que tal aconteça, torna-se necessário a adequada escolha do produto a aplicar, mediante a situação verificada. Na remoção de algas, é usual utilizarem-se sais de amónio, compostos de cobre ou alguns sais de base sódica. Aires-Barros (2001) refere que estes e outros biocidas, são fáceis de encontrar no mercado, sendo solúveis em água e normalmente, dissolvidos em solução de 1 a 3%, com resultados satisfatórios. Dependendo da dimensão da colonização existente, o processo pode ser repetido as vezes necessárias para uma total remoção, após a qual, as superfícies deverão ser lavadas com água abundante, por forma a remover os vestígios dos biocidas. Segundo Godos (1995) no caso específico das algas, é também possível proceder à sua remoção sem utilização de produtos químicos, através da utilização de radiação ultravioleta de onda curta, com recurso a lâmpadas de 40W junto do material a limpar, mas pelo período, não inferior a uma semana. Os musgos e líquenes têm que ter um tratamento diferente, uma vez que, formam um tapete regular, mais ou menos aderente, ao crescerem nos estratos argilosos das superfícies das rochas. Antes da aplicação dos produtos químicos, dever-se-á proceder a uma remoção mecânica através de ferramentas como espátulas de madeira ou plástico. Após esse processo, aplicar-se-á então, o biocida adequado, que neste caso, deverá ser um produto à base de hipoclorito de lítio dissolvido a 2% na água. Na aplicação de qualquer tipo de biocida, deve-se ter cuidado com a forma de aplicação, a qual deve evitar ataques à pele e olhos dos técnicos de limpeza.

4.2.2 – Consolidação

Segundo Godos (1995), a principal função de um tratamento de consolidação é, através da aplicação de produtos, reforçar e dar uma maior coesão às matérias degradadas da superfície das rochas e uni-las à parte sã do substrato. Os consolidantes são substâncias que melhoram as caraterísticas mecânicas do material e devem dificultar o acesso e migração interna da água e soluções salinas indesejáveis.

Como existem vários tipos de consolidantes no mercado, a escolha deve ser cuidadosa, pois muitos deles podem ser bastante agressivos e criar situações irreversíveis, destruindo por

completo o material, que supostamente deveria ser tratado. Pelo que, de seguida, enumerar-se-á resumidamente, algumas caraterísticas gerais que estes tipos de produtos devem conter.

4.2.2.1 - Caraterísticas gerais dos consolidantes

Segundo Godos (1995) as principais caraterísticas que os consolidantes devem ter, podem ser resumidas nas seguintes:

- O produto consolidante deverá percorrer toda a superfície degradada e atingir a parte interna do material pétreo, por forma a consolidar a parte superficial e aderi-la à zona interna, mas para que isto aconteça, o produto terá que penetrar através de diferentes porosidades do material. Este requisito nem sempre é fácil de conseguir em trabalhos realizados "*in situ*", só com amostras em laboratório é que se consegue ter controlo completo sobre a profundidade que o consolidante consegue atingir;
- Os consolidantes, apesar de terem que preencher os poros do material para que se tornem eficazes, devem ser produtos que limitem parcialmente a porosidade, uma vez que evitam a entrada de água, mas deixam que a pedra tratada filtre o vapor ("respire") proveniente do exterior e do solo;
- Tratando-se de materiais degradados, o coeficiente de dilatação do produto deverá ser muito semelhante ao da pedra a tratar, senão, a simples aplicação do consolidante pode dar origem a fissuras e/ou fraturas de consequências gravosas para o material e para a própria estrutura;
- A maior parte dos produtos consolidantes, com o passar do tempo, têm tendência a escurecer ou a ficarem esbranquiçados, pelo que se deve remover todo o excesso da superfície, de forma a não alterar o aspeto externo, cromático e de brilho dos materiais tratados;
- Os consolidantes não devem conter, nem formar com a passagem do tempo, subprodutos que possam prejudicar ou danificar os materiais a tratar, como por exemplo a formação de sais solúveis. Em caso de necessidade, estes produtos devem garantir a possibilidade de efetuar um novo tratamento pois, em muitas situações, a degradação não é resolvida com apenas uma aplicação ou só com um tipo de consolidante;
- A capacidade consolidante do produto é fundamental para devolver a coesão aos grãos desagregados e melhorar as suas caraterísticas mecânicas, como a resistência à abrasão, tração e compressão e dureza;
- A reversibilidade dos produtos é outra caraterística a ter em conta, principalmente quando se aplicam numa perspectiva provisória, como é o caso

dos consolidantes aplicados para aderir zonas soltas antes da realização de outros tratamentos, como as limpezas;

- A viscosidade, a facilidade e rapidez de cura, a toxicidade, a inflamabilidade, entre outras, são particularidades dos produtos que não se devem deixar de considerar, aquando da escolha de um consolidante.

4.2.2.2 - Tipos de consolidantes

Pelo que já foi referido anteriormente, para que um consolidante fosse realmente eficaz, muitas eram as caraterísticas que devia conter. Na realidade, não será possível encontrar um produto que se adeqúe e cumpra todas as necessidades de uma intervenção de consolidação.

Outra dificuldade é a observação e a comprovação dos resultados obtidos, uma vez que a maior parte destes produtos são relativamente recentes (algumas décadas), por forma a garantir que os resultados a longo prazo, sejam os esperados e desejados. Só com recurso a ensaios de envelhecimento realizados em laboratório, se podem tirar algumas conclusões, semelhantes à realidade futura.

Como, dependendo da sua composição, existem consolidantes de origens diferentes, poder-se-á agrupá-los em três grupos, seguidamente descritos:

Consolidantes inorgânicos

Segundo Castro (2001), estes tipos de consolidantes caraterizam-se por terem compostos semelhantes aos das pedras e, reagirem muito bem às agressividades atmosféricas a que estão sujeitos, mas têm a desvantagem de terem pouca resistência mecânica e ao choque, fraca penetração e serem irreversíveis.

Estes produtos fornecem compostos inorgânicos insolúveis que formam ligações entre os grãos da pedra, aumentando assim a coesão.

Segundo Aires-Barros (2001), nesta categoria, os mais usados são os consolidantes à base de compostos sílico-inorgânicos, em que, as soluções de silicatos alcalinos aplicados sobre o material pétreo, endurecem em reação com o CO_2 da atmosfera, que vai provocar a carbonatação e libertar ácido silício, o qual se condensa em forma de gel. Este gel garante a consolidação e a proteção (efeito impermeabilizante) da rocha.

Uma das grandes desvantagens da utilização de compostos de silicatos alcalinos, é o fato de produzirem sais solúveis, os quais migram pela rocha, podendo provocar diferentes tipos de eflorescências (Aires-Barros, 2001).

Atualmente o silicato de etileno tem sido mais usado na consolidação das rochas alteradas, que por hidrólise, origina um gel de sílica e álcool etílico, o qual é eliminado por evaporação. A reação deste consolidante depende de vários fatores, nomeadamente: da concentração de solvente; da humidade relativa do ar; da natureza do suporte; etc., a qual pode atingir um período de tempo de cerca de três semanas. Este composto, em relação a outros, tem a vantagem de ter maior poder de penetração, mas a desvantagem de ser menos eficaz (Aires-Barros, 2001).

São usadas, em diversas situações, soluções de fluosilicatos de zinco ou de magnésio, principalmente nos monumentos de países como a Alemanha e Itália. A aplicação destes compostos, comercialmente designados por "fluatos", só é aconselhada em materiais que possuam carbonatos. Embora garantam a coesão, têm a desvantagem de ter fraca penetração e podem dar origem à formação de sais solúveis, devido à presença de impurezas do sulfato de zinco ou magnésio (Castro, 2001).

Outros exemplos de consolidantes inorgânicos, passíveis de ser usados nos materiais pétreos de monumentos são: o carbonato de cálcio; o hidróxido de bário; o sulfato de alumínio; o aluminato de potássio; o ácido fosfórico; entre outros (Godos, 1995).

Consolidantes silico-orgânicos

Pode considerar-se que este tipo de consolidantes se situam entre os inorgânicos e os orgânicos. Este tipo de consolidantes é comum serem designados por silicones, que de acordo com a sua utilização, podem dividir-se em produtos de:

- Ação superficial, hidrofugantes;
- Ação consolidante.

Este tipo de produto pode ser uma boa solução na consolidação, visto terem grande capacidade de penetração em rochas porosas e a sua taxa de polimerização ser ajustável, podendo assim, atingir penetrações mais profundas. Para objetos e monumentos artísticos, talvez sejam os mais adequados, para consolidar e hidrofugar, uma vez que atuam com substancias muito semelhantes aos dos materiais pétreos a serem tratados (Aires-Barros, 2001).

Consolidantes orgânicos

Entre os consolidantes orgânicos podem distinguir-se os naturais, como as ceras, azeites, sebos, etc., os quais sempre foram usados desde os tempos mais remotos, e polímeros sintéticos que se destacam atualmente nas intervenções de consolidação (Godos, 1995).

Estes tipos de produtos, apesar da sua elevada viscosidade, têm um poder de penetração mais elevado que os inorgânicos, quando misturados com solventes adequados, tendo sempre a preocupação que estes evaporem com rapidez. Como principais desvantagens, estes tipos de

consolidantes degradam-se com mais facilidade e rapidez que os inorgânicos e possuem propriedades diferentes do material pétreo, as quais podem provocar outros tipos de degradação no material, como é o caso da dilatação térmica, a qual pode provocar tensões internas através da variação da temperatura (Godos, 1995).

Ceras

As ceras são dos consolidantes orgânicos mais antigos, usadas no tratamento de rochas brandas. Atualmente, embora não muito usadas, utilizam-se diluídas em solvente ou a quente, tendo um papel essencialmente impermeabilizante. Podem distinguir-se dois tipos de ceras, as naturais e as sintéticas. As primeiras podem ser de origem animal, vegetal ou mineral e são formadas essencialmente por esteres de ácidos gordos e álcool. As segundas são formadas por hidrocarbonetos polimerizados e oxidados (Aires-Barros, 2001).

Sistemas poliméricos sintéticos

Segundo Aires-Barros (2001), nestes sistemas podem-se distinguir dois tipos:

- Os polímeros, que são aplicados sobre a rocha, depois de dissolvidos em solvente adequado. Estes vão-se depositando nos vazios e poros das rochas a tratar à medida que o solvente se evapora;
- Os monómeros, que são aplicados puros ou dissolvidos em solvente, mas neste caso, polimerizam nos poros e vazios da rocha.

De entre os sistemas poliméricos sintéticos têm sido habitualmente usados, os termoplásticos e os termoestáticos (Aires-Barros, 2001).

Os polímeros termoplásticos têm a grande vantagem de poderem ser reversíveis por fusão, sem grande perda das suas propriedades, como é o caso do cloreto de polivinil, do polietileno, do nylon e do polimetil metacrilato. Estas são muito usadas como "consolidantes temporários", ou seja, quando existe a necessidade de se proceder a uma consolidação imediata antes de estar definida a metodologia de conservação, ou quando, se torna necessário proceder ao transporte de um elemento bastante deteriorado, para ser tratado em laboratório.

Os polímeros termoestáticos, como é o caso do poliéster, das resinas epoxi e do poliuretano, depois de aplicados e endurecidos por ação do calor, não podem ser fundidos e reenformados (Aires-Barros, 2001)

Na escolha deste tipo de produtos, pelo exposto, deve ter-se em conta as suas propriedades de reversibilidade, sendo um dos aspetos a ter em consideração em qualquer intervenção em monumentos (Aires-Barros, 2001)

Dos produtos que compõem os sistemas poliméricos orgânicos sintéticos, salientam-se os seguintes:

a) Polímeros acrílicos

Segundo Aires-Barros (2001), no mercado existem vários consolidantes com este tipo de composto. De acordo com o grau de polimerização desejado, estes podem apresentar-se viscosos ou duros. Estes produtos têm uma grande resistência à luz solar, ao calor e às intempéries. São insensíveis às ações biológicas e pouco sensíveis à presença da água. Têm fraca resistência aos solventes orgânicos, pelo que, podem ser dissolvidos por estes, tornando-se reversíveis. Com o passar do tempo têm a tendência a alterar a sua coloração (amarelecer). A mistura destes produtos com silicones, têm dado bons resultados, sendo uma solução a ponderar em diversas situações de consolidação.

b) Polímeros vinílicos

Estes tipos de consolidantes contêm produtos termoplásticos que são usados, normalmente, como revestimentos protetores e adesivos, em que o seu uso está associado à limitação da penetração da água no interior dos poros das rochas. Estes polímeros, antes de serem aplicados na rocha, são dissolvidos em solventes orgânicos (Aires-Barros, 2001).

Como principais caraterísticas, podem salientar-se as seguintes: os consolidantes que contêm acetato de polivinil (PVA), são permeáveis ao vapor de água, resistem muito bem à abrasão e não são atacados pelos agentes biológicos (bactérias e líquenes), e ainda, têm uma boa estabilidade ao envelhecimento; os que contêm álcool polivinílico, são bastante resistentes à água e ao vapor de água e, impermeáveis a gases. São igualmente duros e com elevada resistência mecânica; os que incluem cloreto de polivinil (PVC), degradam-se muito facilmente, por ação do calor e da luz, pois estes fatores induzem a libertação de cloro. Este tipo de produto deve ser estabilizado por estearatos ou silicatos de chumbo ou por resinas epoxídicas (Aires-Barros, 2001).

Na utilização destes consolidantes, deve ter-se em atenção a penetração atingida por este, pois em muitos casos, só a parte superficial da rocha foi consolidada, o que pode originar uma crosta dura, que com o passar do tempo se fragmenta e destaca (Castro, 2001).

c) Resinas epoxídicas

Entre as resinas termoendurecíveis, estas são as mais utilizadas na consolidação dos elementos pétreos dos monumentos. Esta caraterística (termoendurecível), é-lhe atribuída pela adição de "endurecedores" ou " agentes de cura", como é o caso dos poliaminas. Para se obter a fluidez necessária para uma boa penetração, são ainda adicionados produtos adjuvantes e diluentes reativos (Aires-Barros, 2001).

As resinas epoxídicas são utilizadas como consolidantes e como meio de proteção, as quais têm boas propriedades mecânicas e de adesão ao material a ser tratado. São, usualmente, usadas para a consolidação de calcários, mármores e grés e, para a colagem de grandes fragmentos de rocha. Estas resinas têm a desvantagem de não serem completamente incolores e amarelecem com o passar do tempo, bem como, uma vez endurecidas, são sempre irreversíveis (Aires-Barros, 2001) e (Castro, 2001).

O processo de cura e o tempo que demoram a endurecer, variam consoante os tipos e quantidades de resinas, dos endurecedores, da temperatura e dos adjuvantes (Aires-Barros, 2001).

Embora existam outros tipos de polímeros orgânicos, com capacidades consolidantes, como é o caso dos poliésteres, poliuretano e o nylon, os descritos anteriormente são os que atualmente são mais usados e com resultados visíveis e analisados (Aires-Barros, 2001).

Preenchimento de fissuras e fixação de fragmentos

Como já foi referido anteriormente e segundo Castro (2001), normalmente os produtos consolidantes, não têm a capacidade de preencher fissuras com alguma dimensão (alguns milímetros), nem unir fragmentos de algum volume, causando, mesmo após o tratamento de consolidação, a penetração de água ou de outros agentes nocivos, que consequentemente, o processo de degradação não será travado. Para minimizar esta situação, é usual recorrer-se a pastas e colas.

As pastas podem ser preparadas misturando um ligante e um pó adequado. Este pó pode ser sílica, pó da própria pedra a ser reparada ou de outra com as mesmas caraterísticas, pó de vidro, etc. Pode ainda adicionar-se pigmentos para a obtenção de cor semelhante à da pedra, havendo aqui um cuidado especial na escolha do pigmento, o qual não deve originar sais prejudiciais ao material pétreo a ser reparado.

Um dos produtos que tem sido muito utilizado como ligante neste tipo de situações, pelas suas caraterísticas mecânicas e pelo seu poder de colagem, são as resinas epoxi. Mas, como já supracitado, estes são susceptíveis de amarelecerem e se degradarem por ação da luz e outros agentes atmosféricos, pelo que normalmente, são usados em profundidade, fazendo-se o acabamento através de resinas acrílicas, as quais são mais resistentes a estes agentes.

Na maior parte dos casos, não sendo necessário a colagem de fragmentos de grandes dimensões, uma argamassa de cal com correção cromática, permite obter resultados bastante satisfatórios.

Um dos produtos que tem sido amplamente utilizado nestas situações, mas desaconselhado, mesmo proibido, é o cimento, uma vez que é muito rico em sulfatos e sais alcalinos que originam sais solúveis, como também irá originar pastas muito compactas em comparação com os materiais pétreos a serem consolidados, dificultando o movimento da água e sua evaporação, dando-se a cristalização dos sais nas pedras adjacentes, danificando-as. Outra desvantagem do uso de cimento, está relacionada com a forte retração que estas pastas apresentam durante a secagem, que em muitos casos, arrasta consigo fragmentos de pedra, principalmente se esta se apresentar degradada, além de que, não cumpre um princípio fundamental da conservação de edifícios antigos, que é a reversibilidade, pois ao tentar-se remover este tipo de pasta, depois de seca, inevitavelmente, virão acoplados a esta, vários fragmentos de rocha (Castro, 2001).

4.2.3 – Proteção e Manutenção

Após os tratamentos de limpeza e/ou consolidação efetuados num material pétreo, torna-se necessário proceder à sua proteção, uma vez que, continua sujeito à ação dos agentes nocivos que causaram o decaimento do qual o material foi tratado.

Um dos fatores que mais influencia o decaimento das rochas em monumentos, são as condições ambientais a que estão sujeitas, como já foi referido no ponto 3.1 do capítulo 3.º do presente trabalho.

A melhor solução de proteção seria, sem dúvida, eliminar os fenómenos negativos do ambiente sobre as rochas, embora uma solução de fácil aplicação em peças artísticas de pequenas dimensões, torna-se uma situação muito complicada, provavelmente impossível, fazê-lo na totalidade de um edifício ou monumento (Godos, 1995).

Segundo Castro (2001), por forma a minimizar as consequências destes agentes, era aconselhável que se seguisse as seguintes medidas:

- Eliminação ou minimização da ação das fontes de deterioração (proteção contra o ambiente);
- Aplicação de produtos superficiais de proteção (proteção físico-química);
- Inspeção e cuidados de manutenção apropriados e regulares.

Refere ainda Castro (2001) que a eliminação ou a minimização da ação das fontes de deterioração, deveria ser a primeira medida a adoptar, antes da aplicação de qualquer tipo

de produto protetor. Sendo em muitos casos possível, de fácil execução e economicamente viável, como é o caso de peças artísticas no exterior, onde se pode optar por exemplo:

Nos climas frios ou épocas do ano de condições climatéricas mais agressivas, utilizam-se frequentemente invólucros de isolamento térmico, por forma a proteger as peças contra o gelo e as intempéries. Em alguns casos, pode-se remover, temporariamente, as peças para recintos climatizados ou museus;

Criar coberturas provisórias, ou não, sobre as peças, embora nesta solução, não haja uma proteção contra as condensações;

Construir instalações de recintos fechados transparentes em torno do objeto exterior, conseguindo-se uma proteção, e ao mesmo tempo, deixando-o visível. Esta solução pode tornar-se perigosa, pelo efeito de estufa originado pelas altas temperaturas no interior, causando tensões na pedra, podendo danificá-la. Uma solução deste tipo teria de ser bem avaliada, com sistemas de controlo de renovação de ar e controlo de humidade.

Em rochas incluídas em paramentos exteriores de monumentos, as soluções atrás descritas, não são passíveis de serem aplicadas. Podendo-se minimizar o processo de decaimento nas rochas junto à base do edifício, como por exemplo, a revisão do sistema de drenagem das águas pluviais, evitando a ascensão desta por capilaridade e, incluir dispositivos de evacuação ou alteração do percurso das águas (Castro, 2001).

Mediante as dificuldades referidas tem-se, na maioria das vezes, a necessidade de recorrer a produtos superficiais de proteção, que criem uma barreira contra os ataques do ambiente. Estes produtos têm a finalidade de evitar ou atrasar as ações de decaimento das rochas provocadas pela meteorização, poluição e, principalmente, pela entrada de água, que como já foi visto, é uma das principais causas de alteração, atuando sozinha ou combinada com outros elementos (Aires-Barros, 2001).

Segundo Aires-Barros (2001) e Godos (1995), os produtos referidos devem ter as seguintes caraterísticas:

- Ter a menor influência possível sobre as propriedades visuais do material a proteger;
- Ser estável aos agentes químicos, como os poluentes ácidos da atmosfera e à radiação Ultra-Violeta;
- Ser impermeável à água líquida e permeável ao vapor desta;
- Ser reversível, ou pelo menos de fácil remoção quando já tenha perdido a sua eficácia;
- Ter a possibilidade de aplicação de novas camadas de proteção quando se torne pouco eficaz;

- Ser de fácil aplicação;
- Não haver subprodutos perigosos;
- Ter boa adesão ao material, por forma a não ser removido por ação das águas da chuva.

A aplicação de produtos de proteção nas rochas dos monumentos é um trabalho elaborado desde a antiguidade, uma vez que, pela experiência, era conhecido o efeito degradativo da água sobre as rochas. Esta situação levou ao emprego de substâncias com propriedades hidrorrepelentes, tais como, óleos (óleo de linhaça), sebos de animais, ceras e parafinas. Estas substâncias, muito dificilmente, cumpriam os requisitos exigidos para uma boa eficácia de proteção, embora ajudassem bastante no retardamento das ações patológicas do ambiente (Aires-Barros, 2001).

Atualmente, mesmo com todo o conhecimento técnico e/ou científico na área, torna-se difícil encontrar um produto protetor que cumpra, por si só, todas as propriedades necessárias exigidas, pois algumas dessas propriedades são incompatíveis ou mesmo se contradizem. Segundo Godos (1995), uma boa hidrorrepelência limita a permeabilidade e a mudança de cor e de brilho dá-se, normalmente, após algumas aplicações. Em muitos casos, a aplicação de um hidrófugo pode ser contraproducente, como é o caso em que exista humidade excessiva no material, quer seja causada pelo ambiente húmido ou por ascensão por capilaridade do terreno, em que, se não se bloquear a entrada de água ou se secar o material, o produto protetor irá causar um efeito contrário, agravando a situação patológica do material, uma vez que este, irá bloquear a saída da água líquida para o exterior.

Presentemente, são muito usados os produtos acrílicos e silicones. Como medidas adicionais, por vezes, são acrescentados e/ou misturados fungicidas e bactericidas como forma de proteção a agentes biológicos (Castro, 2001).

Independentemente do produto ou da mistura, a escolha deve ser adequada ao caso específico a tratar. Devido à grande variedade existente no mercado, é sempre aconselhável, desde que possível, elaborar ensaios em laboratório antes da aplicação num caso concreto, ou a aplicação "*in situ*" numa zona pouco visível e analisar os resultados obtidos (Castro, 2001).

Segundo Godos (1995), entre os produtos mais utilizados encontram-se as resinas acrílicas, principalmente pela sua estabilidade aos raios ultra-violetas, embora na sua generalidade, estes modifiquem bastante a cor e as suas propriedades hidrorrepelentes fiquem bastante reduzidas em contacto com a água, como é o caso do Paraloid B-72® da Rhom e Haas, um dos produtos mais comercializados. Mais resistentes à água são os silicones, pelo que em muitas situações, se utiliza uma mistura dos dois, podendo conseguir-se alguns resultados satisfatórios.

Estes produtos criam uma fina camada de proteção que, por ação dos agentes do ambiente, têm a tendência a erodir e a descamar com o tempo. Na literatura inglesa, a sua aplicação, é muitas vezes designada por "sacrificial layer", uma vez que, dependendo da ação ou ações a

que está sujeita, tem uma duração aproximada de 5 a 10 anos, após os quais, se tem necessidade de remover ou de proceder à aplicação de novas camadas (Godos, 1995).

Para garantir um período de eficácia mais longo com os efeitos pretendidos, terá que se ter em atenção, não só a composição química do produto, mas também, as condições da superfície onde são aplicados. Torna-se então fundamental que, antes da sua aplicação, o material seja devidamente limpo, esteja isento de fraturas, fissuras, material incoerente ou de qualquer fator que possa por em causa a aderência e a eficácia do mesmo (Godos, 1995).

Por tudo o que já foi referido, a escolha do produto adequado a uma dada situação, nem sempre é uma tarefa fácil, mesmo conhecendo bem a composição química deste.

Num estudo realizado por Pinto (1997), onde se analisaram as ações de diversos tipos de hidrófugos sobre rochas graníticas, no caso particular da Anta Grande de Zambujeira, pode observar-se a dificuldade encontrada na escolha do produto que melhor se adequasse à situação, ou pelo menos o que, cumprindo o seu papel, cause menos danos ao material pétreo a ser protegido.

Nas conclusões desse estudo pode salientar-se que:

- O produto “K” (resina fluorcarbonatada) apresentou uma menor eficácia inicial e maior nocividade aparente para o material tratado, ao contrário do produto “S” (polisiloxano) que apresentou, em termos gerais, uma ação inicial satisfatória;
- O produto “L” (Resina acrílica) manifestou caraterísticas hidrorrepelentes superiores às conferidas pelo produto “Q” (alquisilano);
- Os materiais tratados com o produto “Q” manifestaram menor capacidade de absorção de água, comparando com os tratados com o produto “L”, que neste caso pode ser devido à maior capacidade de penetração do produto “Q”;
- O produto “Q” foi o que manifestou uma resistência satisfatória a 28 ciclos de cristalização de sais. Nesta simulação, o produto “L” foi o que viu a sua ação inicial mais afetada;
- Os produtos “S” e “L” apresentaram menor resistência aos ciclos de cristalização de sais, mas obtiveram melhor comportamento à ação de 120 ciclos de temperatura e humidade seguido de 400 horas de radiação ultra-violeta.

Verifica-se não haver um produto universal ou um “remédio” capaz de responder a todas as situações particulares. Por forma a minimizar as situações de aplicação de produtos inadequados, sugere-se o estudo aprofundado das rochas a proteger, bem como das rochas tratadas, de modo a quantificar efeitos e comportamentos dos materiais ao longo do tempo (Aires-Barros, 2001). Isto poderá conseguir-se através da inspeção e com cuidados de manutenção apropriados e regulares, através da implementação de um sistema de inspeções

periódicas aos tratamentos realizados com a verificação da sua eficácia e do aparecimento da mesma ou de uma nova situação patológica. A manutenção periódica como, conservação de coberturas e sistemas de evacuação de águas, reparação de janelas, juntas e outras aberturas, renovação dos tratamentos de proteção, evitarão trabalhos de conservação de difícil execução e economicamente muito avultados, realizados quando já são a única forma de manutenção do material (Aires-Barros, 2001).

As intervenções de conservação, bem como a sua manutenção, devem ser devidamente documentadas, refletindo de forma detalhada todos os trabalhos realizados, e mesmo as suas consequências.

5 – Patologias no caso de estudo

Marialva, uma aldeia perdida em terras povoadas de maciços graníticos, onde a população, bastante envelhecida, sobrevive, sobretudo de uma agricultura de subsistência, à sombra, do que ainda resta, de um castelo outrora de extrema importância na defesa e desenvolvimento do nosso país.

Esta, hoje pequena aldeia, foi uma importante sede de concelho entre 1157 e 1855, constituída por 10 freguesias e com 2929 habitantes em 1801. Em 1849, foram-lhe anexadas mais 2 freguesias, ficando então com 4042 habitantes e ocupava uma área de cerca de 166km^2.

A partir do séc. XVIII, a vila começa a perder importância, dando-se a degradação e o abandono da povoação intramuros, tendo sido extinta como concelho em 1855 e incorporada no concelho de Meda em 1972.

Atualmente, Marialva é uma das 16 freguesias do concelho de Meda e uma das 12 aldeias históricas existentes em Portugal. Com 255 habitantes (2011) e com uma área de 19,15 km^2, é uma pequena aldeia com uma densidade populacional de 14,2 hab/km^2.

Fonte - http://www.memoriaportuguesa.com/marialva

5.1 - Localização

A aldeia de Marialva situa-se no concelho de Meda, distrito da Guarda, numa extensa lomba que separa a Ribeira da Teja do Rio Côa. Esta freguesia situa-se no nordeste do distrito, delimitada a norte pelo concelho de de Vila Nova de Foz Côa, a este pelo concelho de Pinhel e de Vila Nova de Foz Côa, a oeste pelo concelho de Penedono e a sul pelo concelho de Trancoso (figuras 05.01 e 05.02).

É uma zona de caráter rural, além de possuir uma enorme riqueza em património construído, como são exemplo o castelo, o pelourinho, o cruzeiro, a Igreja de Santiago, a Igreja de S. Pedro, a Capela do Senhor dos Paços, a Casa da Câmara, entre outros. Como se pode observar no mapa da aldeia (figura 05.03), destaca-se igualmente pelo património natural, como atestam as nascentes de águas minerais de Areola e as minas de volfrâmio e estanho da Ribeira da Centieira (Barroca, 2000).



Figura 05.01 – Localização geográfica no distrito da Guarda

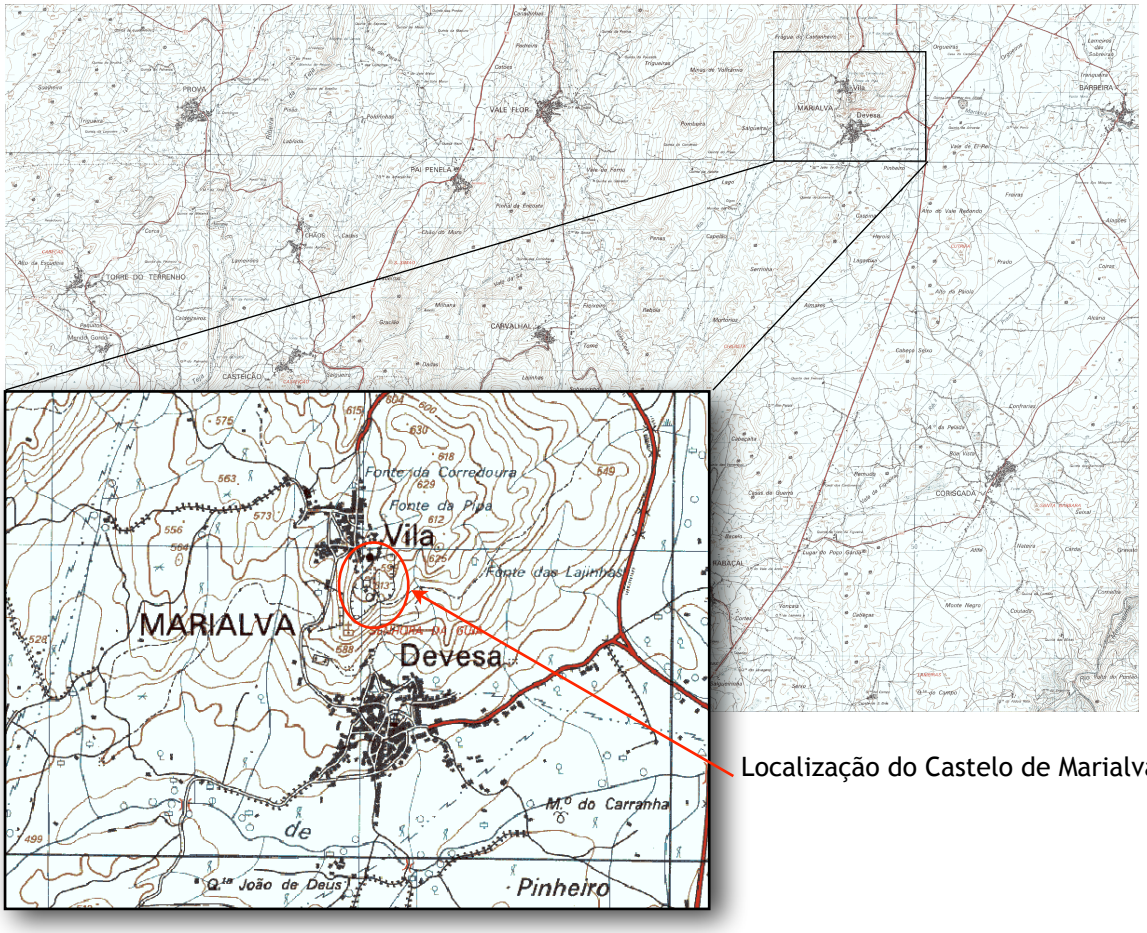


Figura 05.02 – Pormenor da localização retirado do extrato da Carta Militar n.º 160 à escala 1:25000

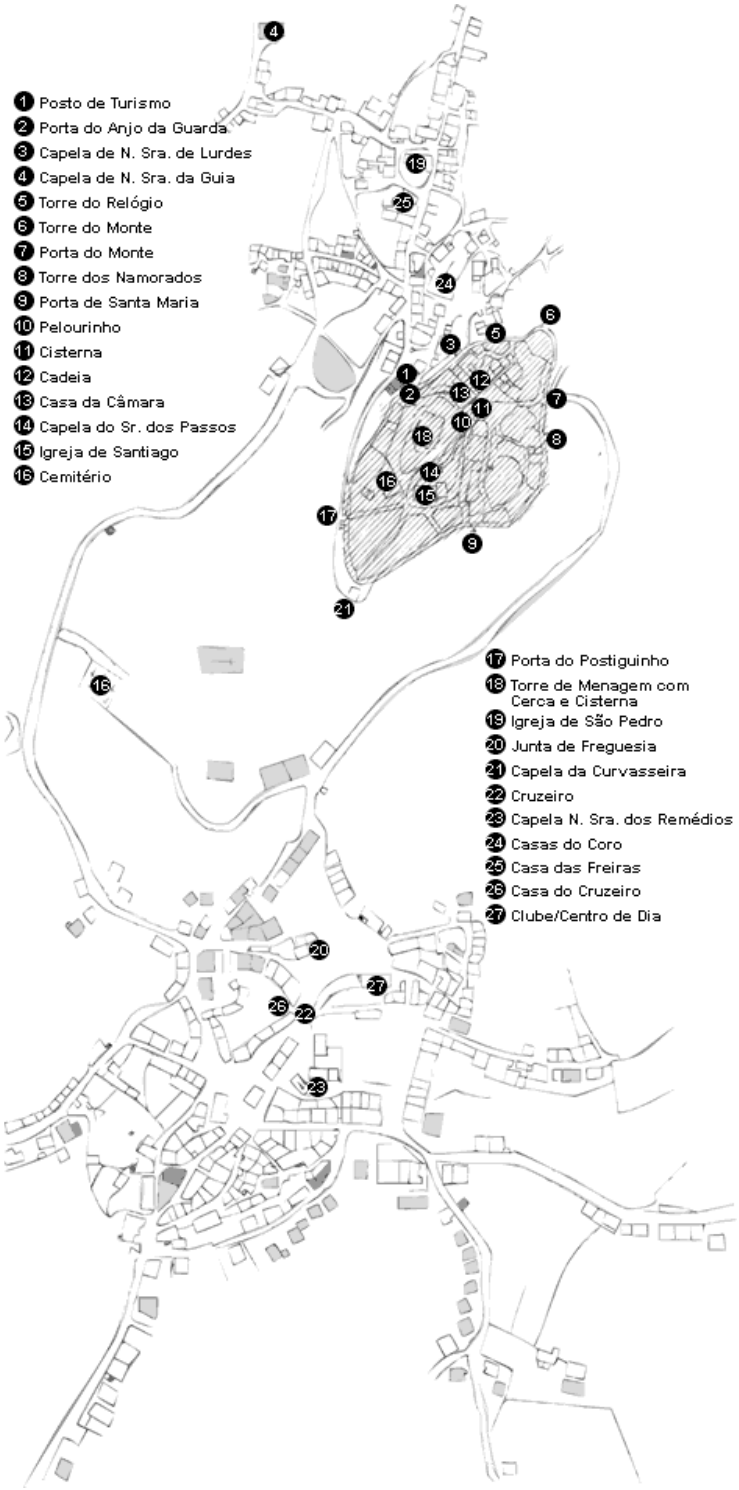


Figura 05.03 – Mapa da aldeia de Marialva

5.2 - Geologia da região

Na zona de estudo, as rochas predominantes são os granitos, como se pode verificar pelo extrato da Carta Geológica de Portugal (figura 05.04), em que os seus afloramentos caraterizam e moldam a paisagem da região.

No caso específico de Marialva, os granitos predominantes na região são os granitos de duas micas indiferenciados (figuras 05.05). Andando pela região, em particular em torno da aldeia, verifica-se que a granularidade das rochas é bastante indiferenciada, com uma granulometria homogénea.

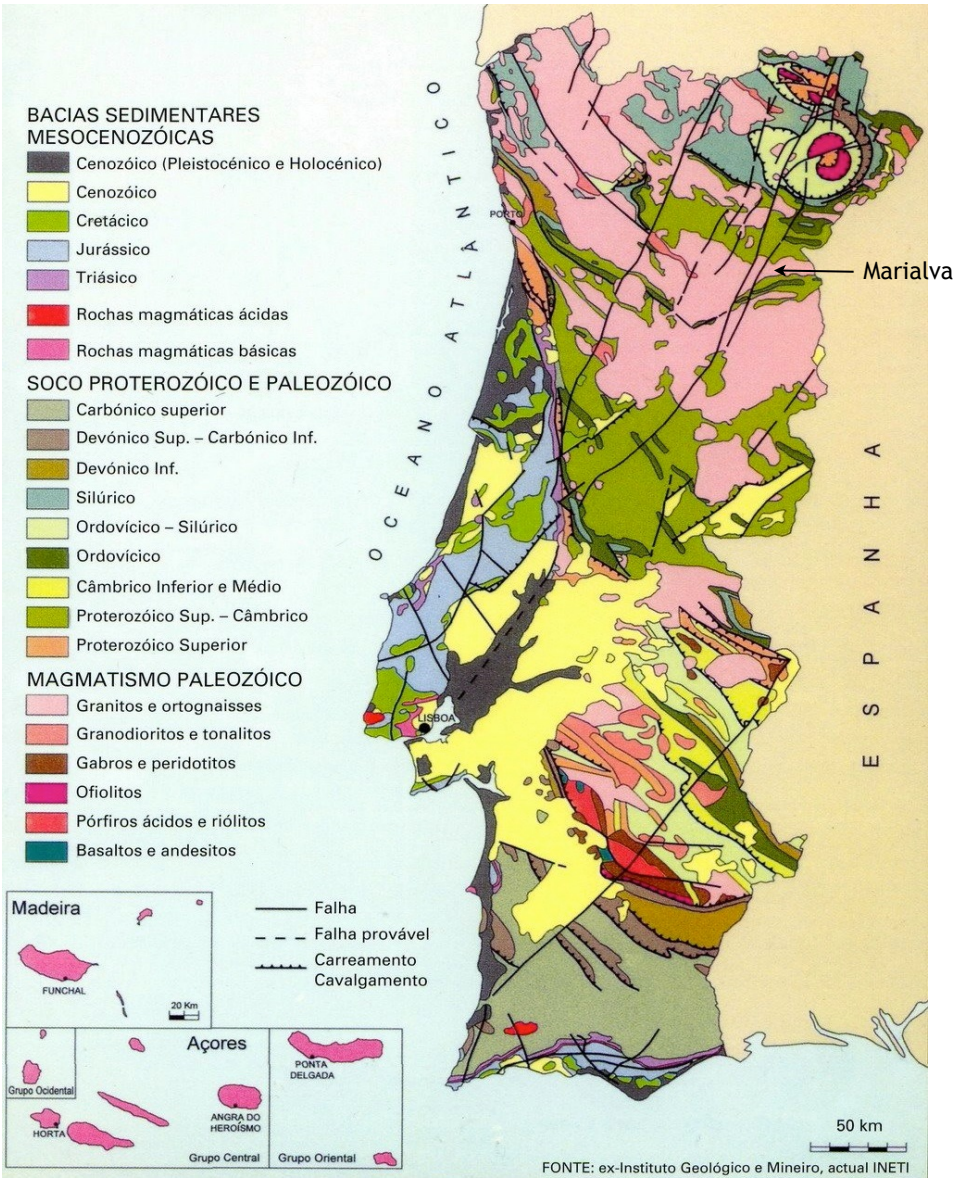


Figura 05.04 – Extrato da Carta Geológica de Portugal

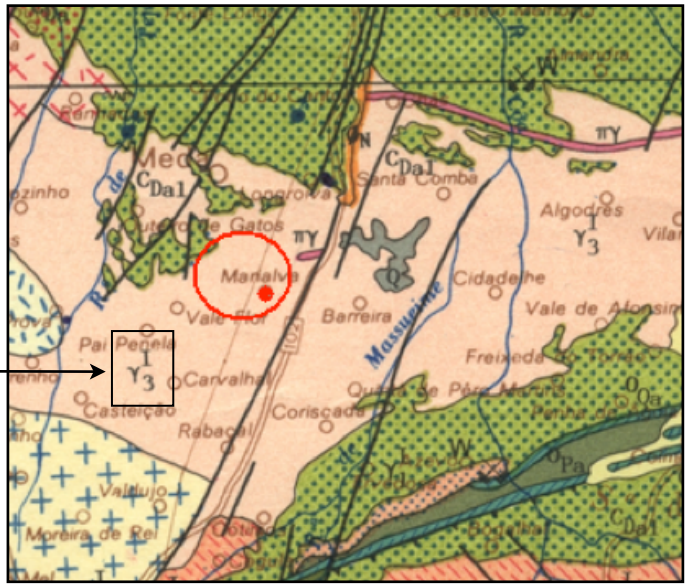


Figura 05.05 – Extrato da Carta Geológica de Portugal à escala 1:500 000

Para se ter uma ideia dos diferentes tipos de granitos existentes na região, elaborou-se o quadro 05.01, onde se pode observar os principais parâmetros físicos e caraterísticas dos granitos existentes em torno da área de estudo.

Dos granitos apresentados, três pertencem a explorações em concelhos limítrofes com o da área de estudo (Amarelo de Figueira, Cinzento de Pinhel e Amarelo de Fonte Arcada), sendo os restantes de concelhos mais afastados, pertencentes ao distrito da Guarda e de Viseu (Branco de Aguiar, Branco Almeida, Cinzento Ariz e Cinzento Antas).

Quadro 05.01 – Parâmetros e características dos granitos da região envolvente à área de estudo

	Amarelo Figueira (Figueira de Castelo Rodrigo)	Branco Aguiar (Aguiar da Beira)	Cinzento Pinhel (Pinhel)	Branco Almeida (Almeida)	Amarelo de Fonte Arcada (Sernancelhe)	Cinzento Ariz (Moimenta da Beira)	Cinzento Antas (Penalva do Castelo)
Resistência mecânica à compressão (kg/cm^2)	850	1800	1140	2150	1250	1910	1350
Resistência mecânica à compressão após teste de gelividade (kg/cm^2)	720	1740	1100	2160	950	1793	1340
Resistência mecânica à flexão (kg/cm^2)	66	161	105	165	89	159	140
Massa volúmica aparente (kg/cm^3)	2590	2630	2630	2630	2660	2640	2620
Absorção de água (%)	0,9	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3
Porosidade aberta (%)	2,2	0,6	0,7	0,6	1,2	0,4	0,7
Coef. de dilatação linear térmica val. Máx (x 10^{-6} perº C)	8,5	7,5	7,2	6,7	7,4	7,8	7,7
Resistência ao desgaste (mm)	0,3	0,3	0,3	0,1	0,4	0,1	0,3
Resistência ao choque: altura mínima de queda (cm)	85	60	65	70	70	55	60
Observações:	A resistência ao gelo é superior a 25 ciclos de gelo-degelo.	A resistência ao gelo é superior a 25 ciclos de gelo-degelo.	A resistência ao gelo é superior a 48 ciclos de gelo-degelo.	A resistência ao gelo é superior a 25 ciclos de gelo-degelo.	A resistência ao gelo é superior a 25 ciclos de gelo-degelo.	A resistência ao gelo é superior a 48 ciclos de gelo-degelo.	A resistência ao gelo é superior a 25 ciclos de gelo-degelo.

Fonte: LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia. I.P.

5.3 - Descrição e Caracterização do Monumento

5.3.1 - Caracterização

Segundo Barroca (2000), o castelo de Marialva é constituído por um pátio de reduzidas dimensões, cuja porta principal se orienta a oeste, tendo do lado oposto a Porta da Traição virada para a Igreja de Santiago, inserida no recinto interior do castelo. Neste recinto, encontra-se igualmente, uma torre de menagem, isolada da muralha e assente no alto de um afloramento rochoso, conferindo-lhe uma posição de destaque e onde o acesso é feito por uma pequena porta ao nível do primeiro andar.

Segundo o mesmo autor (Barroca, 2000), junto à referida torre, existe uma pequena cisterna abobadada onde ainda se pode observar o que resta do revestimento em estuque existente, em que o acesso era garantido por uma abertura no teto. Esta cisterna era um elemento de extrema importância, uma vez que o castelo tinha uma função de defesa e teria que resistir a cercos prolongados.

As muralhas eram coroadas por parapeitos e merlões. Não sendo visíveis, atualmente na muralha, podem-se ainda encontrar nas encostas junto ao castelo e reaproveitados no adro da Igreja de Santiago (Barroca, 2000).

As muralhas, apesar das diversas intervenções a que têm sido sujeitas, mantêm o seu traçado original e é ainda possível distinguir as três portas originais (do Anjo, a SE; do Monte, a N e de Santa Maria a E), o postigo (virado a S) e três das muitas torres que, certamente, a defendiam (do Relógio, a O, de planta rectangular e com três pisos; do Monte e da Relação, ambas a N).

Com estas caraterísticas e mediante a técnica construtiva existente, trata-se de um castelo românico datado, muito possivelmente, do século XII.

5.3.2 - Proteção

Monumento Nacional, por Dec. n.º 95/78, de 12 Setembro de 1978.

5.3.3 - Enquadramento

Urbano, isolado e destacado, situado num cabeço a cerca de 595 metros de altitude, sobranceiro à Ribeira de Massueime e Ribeira da Teja e ao núcleo populacional da Devesa na zona baixa, com acesso através do núcleo populacional extramuros, zona de topografia acidentada. Para este, avista-se um vasto planalto até ao Rio Côa. Situado sobre o antigo Castro de São Justo.

5.3.4 - Intervenções e/ou estudos nos Séculos XX/XXI (Conceição, 1992)

1942 - Plano geral das obras de reparação e beneficiação do Castelo de Marialva: reconstituição total da torre de menagem segundo os elementos existentes, incluindo reconstrução dos respetivos pavimentos, comunicações e vedação; apeamento e reconstrução dos troços de muralha que ameaçavam ruir; assentamento de cantaria segundo o existente para melhor definir a estrutura do castelo; regularização dos adarves e parapeitos; limpeza da cisterna; assentamento de portas; escavações em terra compacta; limpeza de cantarias.

1943 / 1944 - Diversas obras no castelo de Marialva: consolidação das muralhas com cintagem de betão armado; apeamento e reconstrução de muralhas; construção e assentamento de ameias.

1945 - Restauro do castelo e obras na Igreja de Santiago: escavação em terra compacta para regularização de piso; remoção de pedra das muralhas derrocadas; limpeza da cantaria e tomada das juntas nas muralhas; construção da armação da cobertura e telhado; consolidação com cintagem de betão armado de soalho.

1973 - Obras de limpeza e sondagem no castelo, no contexto do plano de consolidação e beneficiação geral; escavações para sondagem; limpeza e arranque de vegetação parasitária; consolidação de troço de muralhada.

1974 - Obras de consolidação no castelo: continuação do trabalho de consolidação de troços de muralha (junto à Torre do Monte); outras consolidações em edifícios intra-muros; arranque de silvados no recinto intra-muros.

1976 - Obras diversas de consolidação no interior do castelo: obras nas construções centrais da praça principal intra-muros; prospeção geral ao perímetro muralhado; consolidação do pelourinho: ajustamento da cantaria e recalçamento; consolidação do poço junto ao pelourinho; consolidação de paredes na antiga Casa da Câmara, incluindo escoramento, tomada de juntas, reposição de alvenaria e silharia na posição original, preenchimento dos vãos com argamassa, reconstrução do cunhal derrocado e colocação do escudo; outras consolidações de paredes para evitar derrocadas de edifícios e muralha; limpeza e consolidação de adarves e muralhas nos setores mais carenciados.

1986 - Obras de conservação nas capelas do castelo: reconstrução da cobertura da Capela do Senhor dos Passos; limpeza da cal existente nas cantarias dos alçados exteriores e refechamento de juntas na Capela de Santa Bárbara.

1987 - Obras de recuperação e beneficiação no castelo: colocação de elementos de ferro em falta na grimpa do pelourinho; consolidação de dois paramentos de parede da ruína de uma casa de judeu, existente junto do edifício da antiga câmara; reconstrução da cobertura da Capela do Senhor dos Passos; reconstrução de uma parte da muralha (junto à Porta do Anjo da Guarda).

1990 - Obras de recuperação no castelo: intervenção na Torre do Monte com colocação de silhares em falta.

2001, 27 de janeiro - Parte da muralha que envolvia a torre de menagem ruiu, devido às fortes chuvadas;

2001, maio – Empreitada de “Recuperação e Reconstrução de Troços de Muralha”, elaborada pelo autor;

2003, dezembro – Empreitada de “Recuperação e Reconstrução de Troços de Muralha – 2ª fase”, elaborada pelo autor;

2004, abril – Empreitada de “Conservação e Valorização da Igreja de Santiago e Capela do Senhor dos Passos”, elaborada pelo autor.

5.3.5 - Materiais

Cantaria de granito com aparelho isódomo e revestimento inexistente.

5.3.6 - Registo Fotográfico



Figura 05.06 – Vista aérea do Castelo de Marialva (SIPA, 2011)



Figura 05.07 – Vista da torre de menagem e muralha envolvente

5.4 - Últimas Intervenções Realizadas

De entre os Monumentos Nacionais existentes na Beira Interior, a escolha do Castelo de Marialva, como caso de estudo para este trabalho, deveu-se ao fato da existência de uma grande diversidade de patologias nos seus diversos elementos constituintes. O acesso às patologias, a sua visibilidade e a possibilidade de as estudar, tornaram este monumento como ideal para o desenvolvimento do presente trabalho.

Outro fator, não menos importante e que teve influência nas conclusões do estudo, foi a quantidade e extensão das intervenções realizadas nos últimos anos, onde se podem observar ainda, as metodologias técnicas usadas e as suas consequências nas ações patológicas existentes.

De forma a se ter uma ideia da extensão, quantidade e localização das intervenções realizadas, ilustra-se na figura seguinte (figura 05.08) os troços de muralha intervencionados nos últimos anos, bem como, nas estruturas existentes no seu interior. Os troços estão identificados por "**troço i/n**", em que "**i**" corresponde ao número do troço intervencionado e "**n**", ao ano em que se realizou a intervenção.

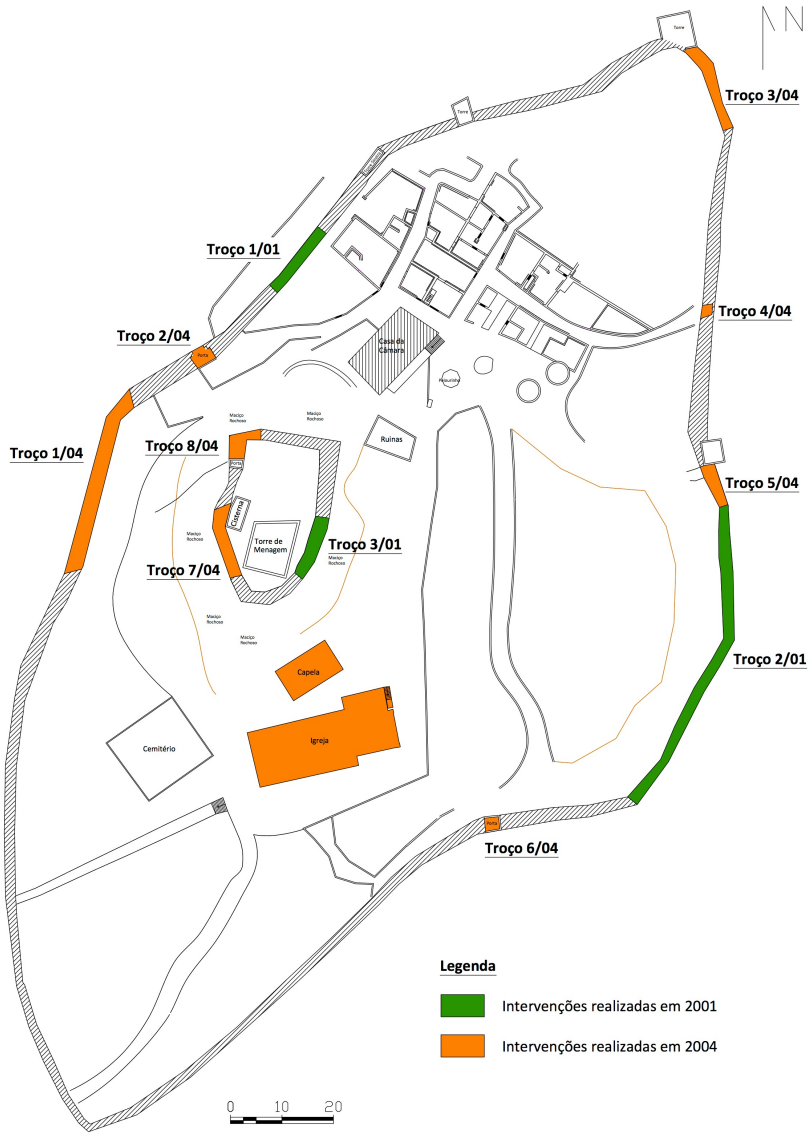


Figura 05.08 – Últimas intervenções realizadas no Castelo de Marialva

5.4.1 - Intervenções realizadas em 2001

Em 2001, devido ao mau estado de conservação da generalidade dos elementos constituintes do castelo e, em conjugação com um inverno bastante rigoroso, ocorreram diversas derrocadas de panos de muralha. Esta situação colocou em risco tanto a integridade física das pessoas que usufruíam do espaço, como iria suscitar maior vandalismo no interior do espaço muralhado, uma vez que pelas zonas derrocadas o acesso tornava-se facilitado e apetecível,

não sendo possível o controlo por parte das entidades responsáveis pela manutenção do monumento.

Surgiu então a necessidade urgente de reconstruir as zonas da muralha derrocadas e consolidar os panos adjacentes, os quais se encontravam, devido a esta situação, em risco eminente de queda. No mesmo ano, realizou-se uma intervenção onde foram incluídos três troços considerados como urgentes, cuja localização e extensão se pode observar na figura anterior (figura 05.08).

O troço 1/01 situado junto à porta principal de acesso ao recinto interior do castelo, encontrava-se com uma parte derrocada e outra com deformações bastante acentuadas. A intervenção realizada consistiu no desmonte das zonas degradadas e reconstrução utilizando os silhares provenientes do desmonte e da derrocada (figura 05.09).



Figura 05.09 – Troço 1/01, pano de muralha reconstruído

Uma parte da muralha envolvente da torre de menagem do castelo (troço 2/01) ruiu por completo, sendo considerado na altura como o de intervenção mais urgente, uma vez que se localizava na zona de acesso principal à Igreja de Santiago e à Capela do Senhor dos Passos, existentes no recinto do castelo e, devido à instabilidade dos panos adjacentes, os quais se encontravam bastante danificados e em risco de queda eminente. Este troço foi totalmente reconstruído utilizando-se silhares provenientes da derrocada e outros oriundos de outras zonas do castelo, onde ocorreram pequenas derrocadas e que se optou por não se intervir (figura 05.10).



Figura 05.10 – Troço 2/01, intervenção no pano de muralha envolvente da torre de menagem

O troço 3/01, de grande extensão, encontrava-se com algumas zonas derrocadas e outras com deslocamentos bastante acentuados. Neste troço, além de se reconstruir as partes derrocadas, optou-se igualmente, por intervir em todas as zonas com deslocamentos associados, dando assim uma maior estabilidade de conjunto, minimizando o risco de novas derrocadas (figura 05.11).



Figura 05.11 – Troço 3/01, aspeto do caminho de ronda após a intervenção

A metodologia adoptada nestas intervenções teve como base os princípios descritos nas cartas e recomendações internacionais para este tipo de imóveis. Optou-se por soluções que não colocassem em causa a sua integridade, o mais semelhante possível às técnicas tradicionais no que diz respeito ao uso das metodologias e materiais e pelo princípio da reversibilidade.

Em todos os troços a intervenção consistiu na desmontagem dos panos de muralha com grandes movimentos e consequentes juntas abertas; preparação do leito de fundação; escavação dos aterros no tardoz da muralha para posterior reposição; reconstrução dos panos de muralha, reaproveitando as alvenarias provenientes do desmonte e/ou da derrocada, com técnica construtiva em tudo idêntica ao existente, com a aplicação de geotêxtil de modo a evitar a perda de material fino por infiltração de águas (figura 05.12); reposição de terras de enchimento no tardoz da muralha, que incluiu a sua compactação e um sistema de drenagem com tubagem de PVC e material filtrante; regularização e estabilização do coroamento da muralha com argamassas bastardas e correção cromática, de forma a evitar infiltrações para o interior dos panos.



Figura 05.12 – Trabalhos de reconstrução de parte do troço 3/01

5.4.2 - Intervenções realizadas em 2004

Após as intervenções realizadas em 2001, existiu por parte da entidade proprietária e gestora do monumento, um investimento algo significativo na beneficiação do espaço interior do castelo, com o fornecimento e aplicação de algum equipamento urbano tal como, papeleiras, sinalética e de iluminação, tanto dos percursos como monumental, de forma a tornar o espaço mais adequado e agradável aos utentes.

No ano de 2003 surgiram várias situações de vandalismo no recinto interior do castelo, uma vez que os autores destes "atentados", tinham acesso ao espaço por zonas que se

encontravam derrocadas, mas como se encontravam estruturalmente estabilizadas, não tinham sido, ainda, objeto de intervenção. Esta situação deu origem a uma nova empreitada de recuperação onde se propôs a recuperação dos restantes troços derrocados, o alteamento das zonas de muralha onde o acesso ao interior era facilitado, a recuperação de um cunhal da muralha envolvente da torre de menagem em risco de ruína devido a várias deformações estruturais existentes, bem como três das quatro portas existentes de acesso ao castelo.

As metodologias de intervenção definidas foram em tudo semelhantes às adotadas em 2001, visto o resultado alcançado ter sido positivo, indo de encontro às expetativas previstas.



Figura 05.13– Aspeto do troço 1/04 antes da intervenção



Figura 05.14 – Trabalhos de reconstrução do troço 1/04



Figura 05.15 – Resultado da intervenção e aspeto atual do troço 1/04

Das quatro portas existentes de acesso ao interior do castelo, três necessitavam de intervenção (Porta do Anjo, Porta do Monte e Porta de Sta. Maria) uma vez que eram visíveis e bastante acentuados os deslocamentos nos seus arcos. Esta situação deu origem a infiltrações de águas provenientes do coroamento da muralha e a escorrimento de finos pelas juntas abertas (figura 05.16) entre os silhares constituintes dos arcos.



Figura 05.16 – Juntas abertas - Porta do Anjo

No caso específico das portas, embora se tenha adotado a mesma filosofia de intervenção, foram retirados os moldes dos arcos (figura 05.17) de cada porta intervencionada e desmontadas até se encontrarem zonas estabilizadas com a identificação dos silhares para posterior recolocação.



Figura 05.17 – Montagem de cimbre e recolocação de silhares



Figura 05.18 – Porta do monte após intervenção

A muralha envolvente à torre de menagem encontrava-se interrompida do seu lado poente, desde as derrocadas de 2001. Este troço não foi sujeito a intervenção, por se considerar, na altura, estruturalmente estável e sem risco de ruína.

Em 2004, vista a grande afluência de turistas aquela zona, foi proposta a reconstrução do troço por forma a garantir a estabilidade dos panos adjacentes, a segurança de pessoas e bens e um acesso pedonal em toda a sua extensão.

No caso específico deste troço, não foi possível recuperar os silhares resultantes da derrocada, uma vez que já não se encontravam no local, por terem sido levados e utilizados na construção de muros de contenção de terras nas pequenas propriedades agrícolas existentes em redor do castelo.

Face a esta situação, surgiu a necessidade de adquirir silhares em tudo semelhantes aos existentes, no que diz respeito ao tipo de granito, forma e aspeto dos existentes no local.

A figura 05.19 ilustra o aspeto do troço de muralha antes de se proceder à intervenção e, a figura 05.20 o resultado final após os trabalhos de reconstrução.



Figura 05.19 – Aspeto do troço 7/04 antes da intervenção



Figura 05.20 – Aspeto atual do troço 7/04

Ainda na mesma muralha (envolvente da torre de menagem), o cunhal norte/poente encontrava-se, desde 2002, com deslocamentos estruturais bastante acentuados, conforme se pode observar na figura 05.21. A derrocada eminente deste troço, além da perda patrimonial que daí adviesse, poria em causa a segurança das pessoas e bens uma vez que, tanto a base como o topo eram utilizados como passagem primordial para outros locais do recinto do castelo.



Figura 05.21 – Aspeto do troço 8/04 antes da intervenção

A metodologia de intervenção utilizada foi a mesma que se seguiu nos restantes troços derrocados nas várias zonas do castelo, com o desmonte até se encontrarem zonas estáveis e reconstrução com os silhares, em boas condições, provenientes do desmonte. A figura 05.22 ilustra o decorrer dos trabalhos de reconstrução e a figura 05.23, o aspeto atual do cunhal intervencionado.



Figura 05.22 – Intervenção no 8/04 (recolocação de silhares)



Figura 05.23 – Aspeto atual do troço 8/04

No interior do recinto muralhado, além das ruínas das habitações, podem-se encontrar ainda a Igreja de Santiago e a Capela do Senhor dos Passos (figura 05.24), as quais ainda permanecem ao uso pela população local. Estes imóveis apresentavam algumas situações patológicas, nomeadamente infiltrações pela cobertura, degradação de vãos e tetos em madeira, bem como dos revestimentos dos paramentos interiores e exteriores (rebocos e pinturas).



Figura 05.24 – Igreja de Santiago e Capela do Sr. dos Passos

A intervenção realizada teve como base os princípios definidos para este tipo de imóvel, com a recuperação, sempre que possível, de todos os elementos em madeira e a substituição dos que se encontravam em avançado estado de degradação, por outros de iguais caraterísticas (figura 05.25).



Figura 05.25 – Aspeto do vão e paramento da Igreja de Santiago

A cobertura foi recuperada através da substituição das telhas degradadas e da limpeza e execução de todos os remates de cobertura. Nas juntas do pavimento (em pedra), foram retiradas as argamassas de cimento existentes, através de meios manuais, e substituídas por argamassas bastardas com correção cromática (figura 05.26).



Figura 05.26 – Remoção de argamassas de cimento em pavimento por meios manuais

Os paramentos exteriores da Igreja de Santiago, em pedra sem revestimento, foram limpos através de aplicação de biocidas e posterior limpeza através de pulverização de água e escovagem com escovas de nylon (figura 05.27). Os revestimentos dos paramentos da capela, constituídos por argamassas de cimento, foram substituídos por bastardas e pintura com tintas de silicatos (figura 05.28).



Figura 05.27 – Trabalhos de limpeza em paramentos em pedra (sem revestimento)



Figura 05.28 – Aspeto do revestimento da capela, antes e após a execução dos trabalhos

5.5 - Principais patologias

Como já foi referido no Capítulo 3 (Subsecção 3.3), foi criada uma simbologia própria para representação dos tipos de patologias que normalmente ocorrem neste tipo de edifícios.

Em todo o recinto do castelo, estão presentes situações patológicas com mais ou menos gravidade. Como já se referiu anteriormente, a escolha deste monumento como caso de estudo, deveu-se ao fato da existência e visibilidade das patologias existentes em materiais pétreos.

Em seguida serão apresentadas algumas situações patológicas em diversas zonas do castelo, através de levantamento arquitetónico dos alçados, aplicação da representação gráfica criada e ilustração com fotografias tiradas no local.

Devido à grande quantidade de situações patológicas, serão apenas apresentadas algumas zonas que sejam exemplificativas das que se pretendem descrever embora, estas, se repitam um pouco por todo o recinto do castelo.

5.5.1 - Casa da Câmara

A antiga Casa da Câmara que também foi tribunal e cadeia, remonta provavelmente ao Séc. XVII e possui ainda, um escudo com as Armas de Portugal. É uma das estruturas mais importantes inserida dentro do perímetro das muralhas, a par do pelourinho, cisterna e torre de menagem.

No alçado norte observou-se, junto à base do paramento, uma desagregação granular com alguma relevância (figura 05.29), a qual está associada a reparações efetuadas com argamassas inapropriadas para o efeito (argamassas ricas em cimento).

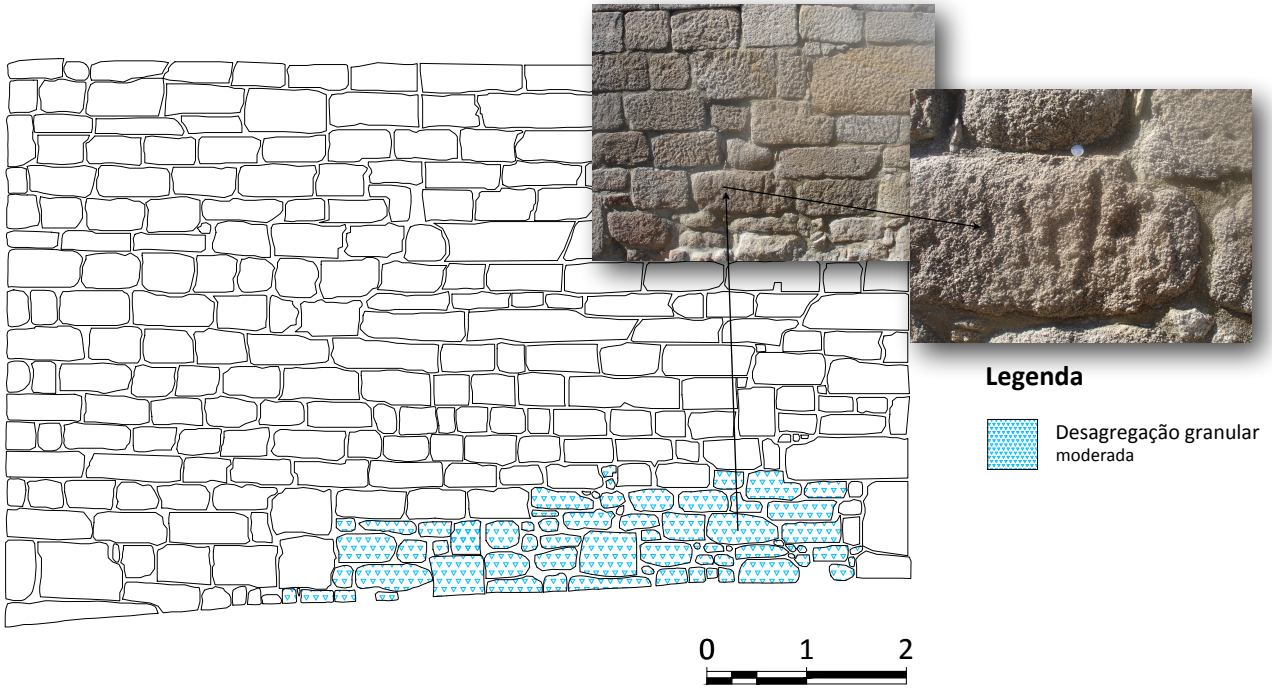


Figura 05.29 – Desagregação granular associada a reparações - Alçado norte da Casa da Câmara

No alçado oeste, apesar da existência de alguma patologias de pouca gravidade, as quais serão exemplificadas no decorrer deste trabalho em zonas onde são mais visíveis, destaca-se um fenómeno que ocorre em diversas zonas do castelo, onde se observa no mesmo silhar uma alteração cromática associada a uma colonização biológica (figura 05.30). Pelos resultados dos ensaios realizados (descritos no capítulo correspondente), verifica-se que esta situação não reduz a resistência da rocha, comparando com os silhares adjacentes sem aspeto deste tipo de patologia.

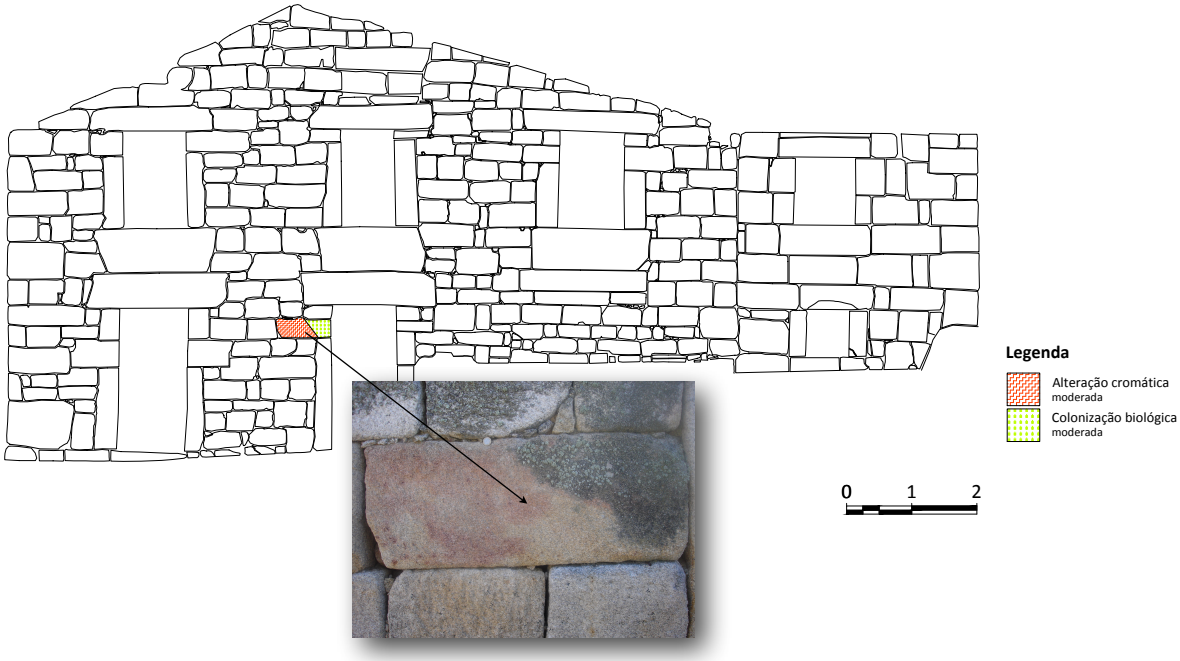


Figura 05.30 – Alteração cromática e colonização biológica - Alçado oeste da Casa da Câmara

5.5.2 - Torre de Menagem

A torre de menagem, de planta trapezoidal e encimada por ameias, remonta ao Séc. XIII, sendo considerada o elemento mais importante do conjunto e onde se pode encontrar um grande número de patologias. De seguida, descrever-se-á as situações verificadas nos seus vários alçados.

No alçado este, onde se encontra a única entrada para o espaço interior da torre, observa-se um deslocamento do cunhal esquerdo com consequente junta aberta, que se inicia sensivelmente à cota do vão existente e se eleva até ao topo da torre. Pela colonização biológica existente, verifica-se a existência de infiltrações de águas pluviais pela zona aberta, podendo ter como consequência algumas patologias estruturais graves a curto ou médio prazo. Junto à base, na zona inferior ao vão, existem silhares com uma arenização acentuada, com grande perda de massa e consequentes juntas abertas e escorrimento de finos. Tal como no alçado este da Casa da Câmara, também aqui existiram reparações com argamassas bastante ricas em cimento.

Além da colonização biológica ligeira existente em todo o alçado, pontualmente encontram-se silhares com aspeto de pulverização ligeira. Realça-se aqui, a existência de placas, as quais são originadas por fenómenos patológicos diferentes, e em certos casos com dimensões e extensões consideráveis.

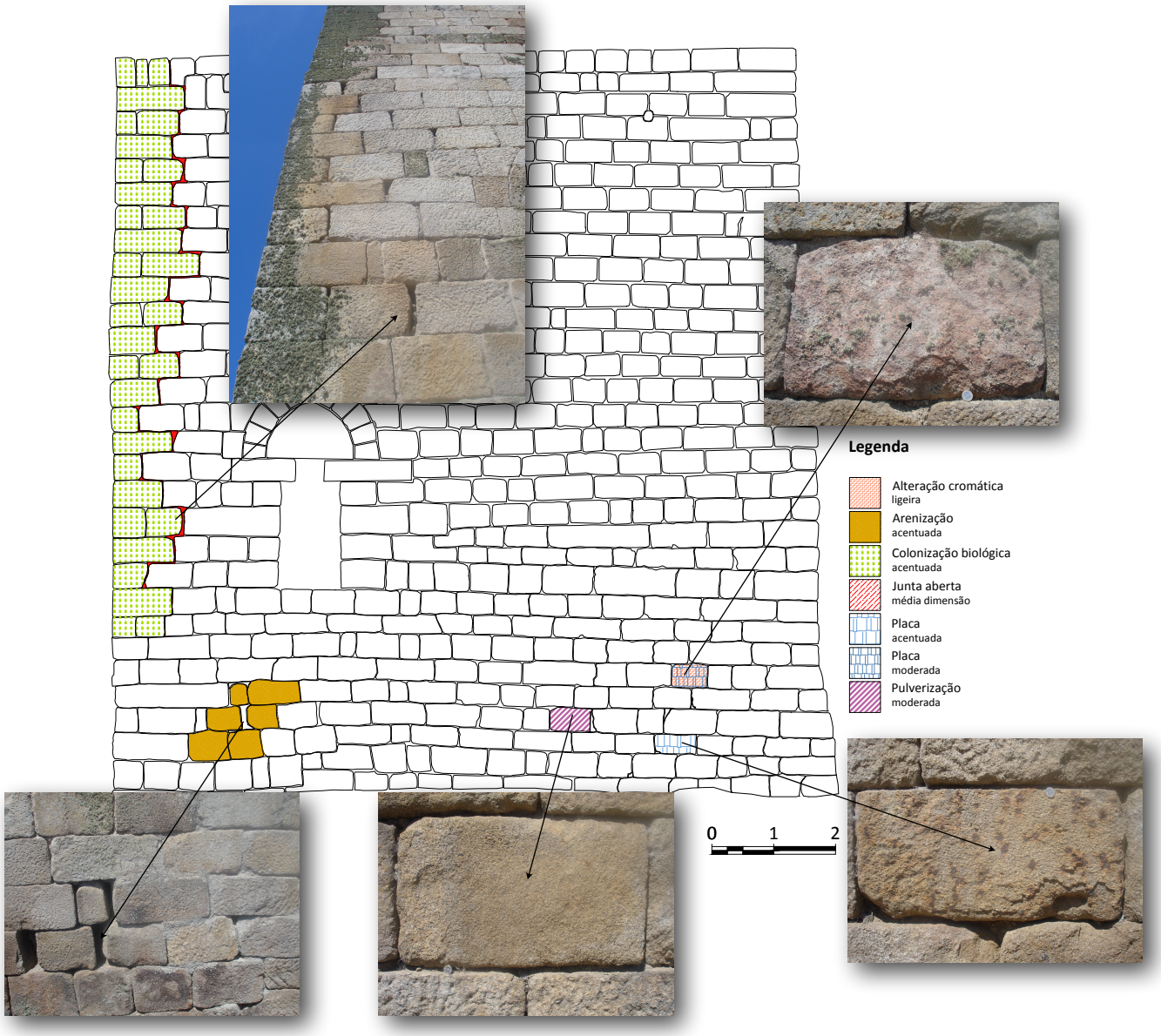


Figura 05.31 – Patologias verificadas no alçado este da torre de menagem

No alçado norte, predominam as situações patológicas de fraturas e fissuras, além de alguns fenómenos de colonização biológica ligeira e pulverização. As fissuras verificam-se um pouco por todo o pano da torre, sendo mais visíveis e de maiores dimensões na primeira metade junto à base, tornando-se quase inexistentes em altura, sendo que as fraturas predominam junto à base. Esta situação pode ter uma relação direta com o fato de todo o pano da torre ter sido assente sobre o maciço rochoso, no qual se encontram várias diaclases com dimensões consideráveis, situação que também poderá ter dado origem ao deslocamento do silhar que se verifica na base (figura 05.32).

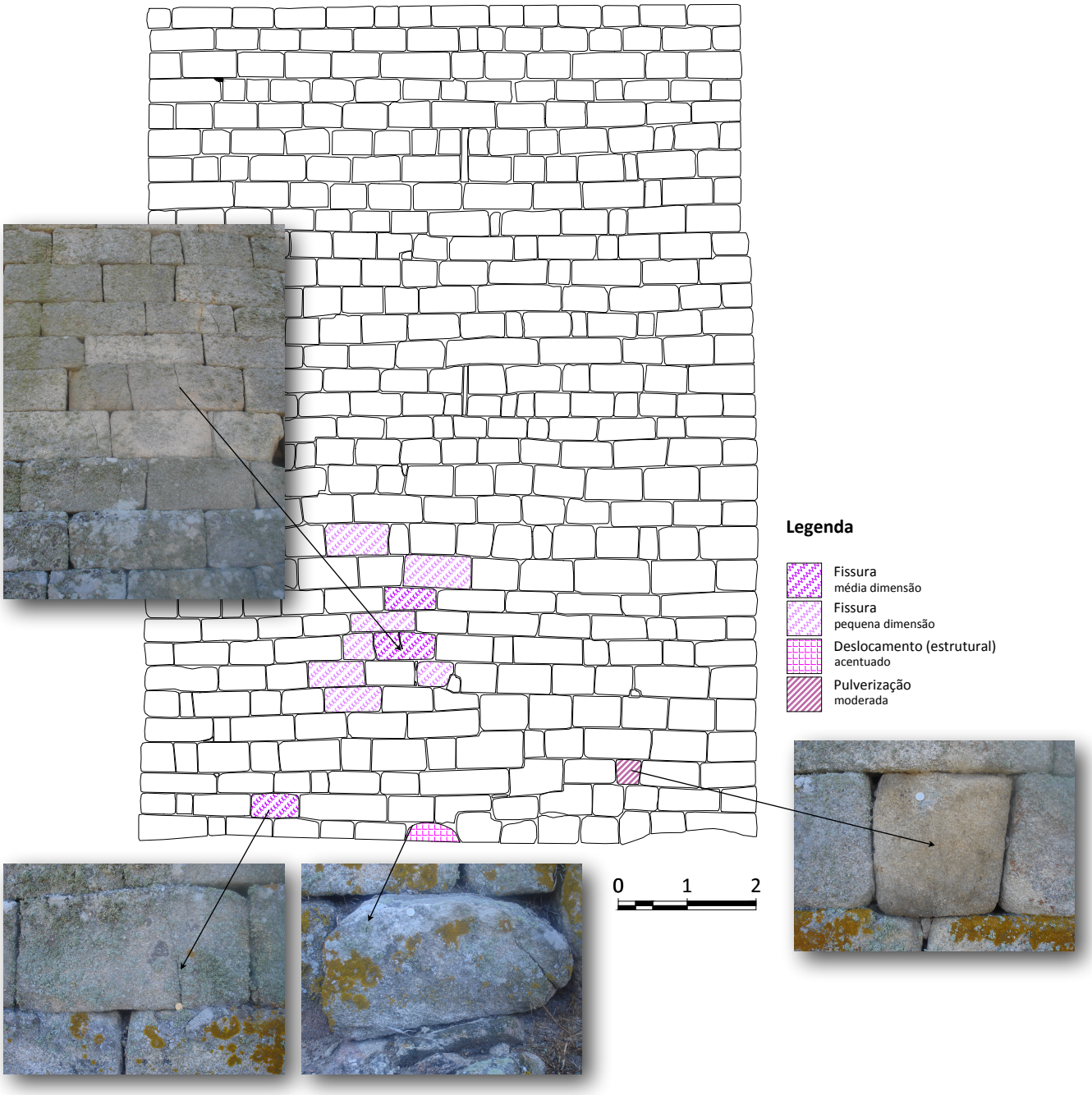


Figura 05.32 – Patologias verificadas no alçado norte da torre de menagem

No alçado oeste (figura 05.33), além das patologias já descritas de colonização biológica, alteração cromática e pulverização, realça-se a lacuna existente na base de assentamento com a inexistência de um silhar ou de parte do maciço rochoso, colocando o(s) elemento(s) existentes sujeito(s) a esforços excessivos para as funções a que se destinavam. Também aqui, tal como no alçado norte, verificam-se diaclases no maciço rochoso de dimensões

consideráveis, como a existência de um deslocamento da base do pano assente sobre o maciço, mas neste caso, não de um elemento pontual, mas de um conjunto de silhares.

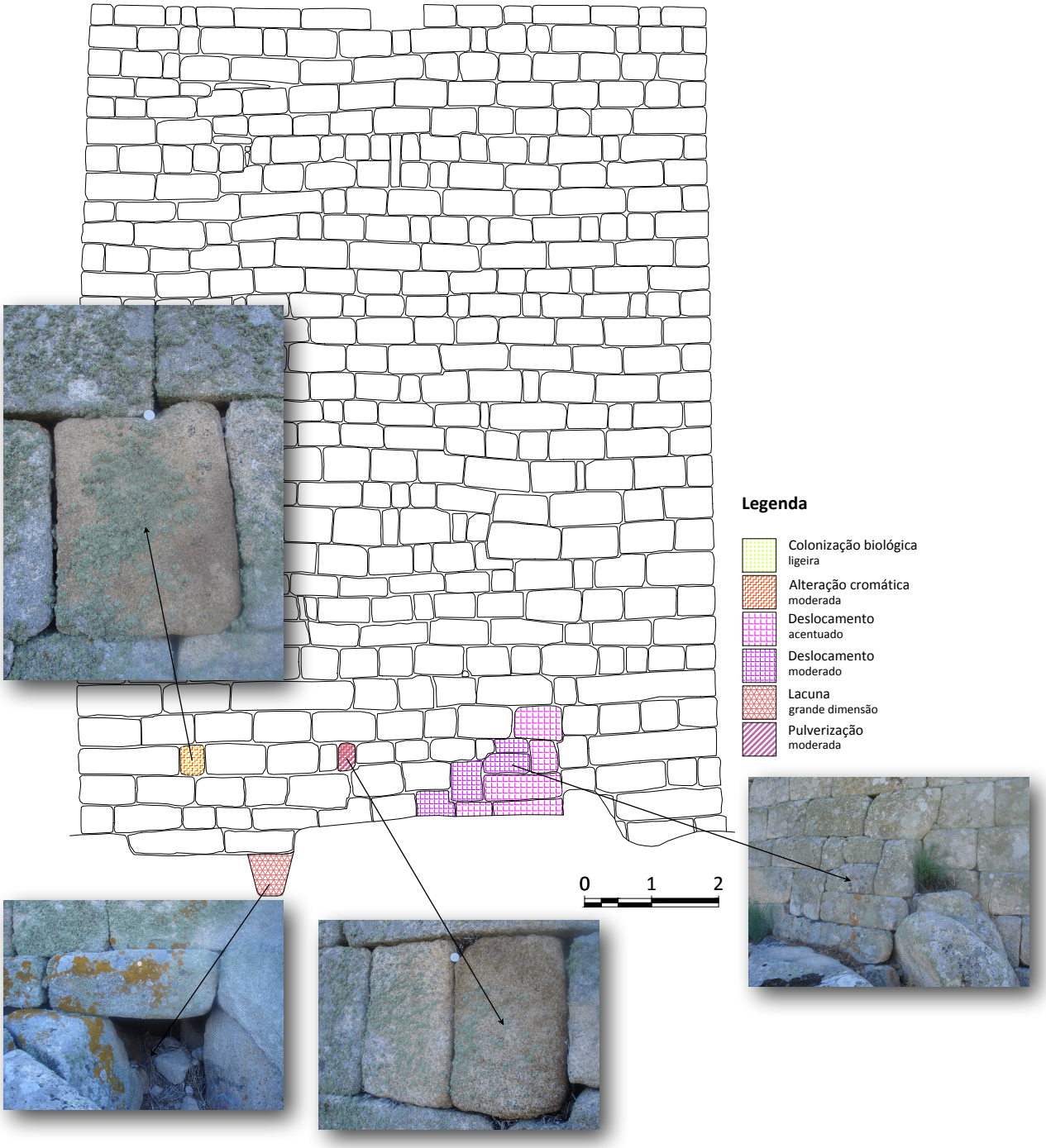


Figura 05.33 – Patologias verificadas no alçado oeste da torre de menagem

No alçado sul, onde a colonização biológica é menos visível ou mesmo inexistente, verificam-se fenómenos muito pontuais de colonização, como se pode observar na figura 05.34. Neste alçado destaca-se a alteração cromática existente em toda a base, a qual se considera que tenha origem pela acumulação de águas pluviais nos aterros existentes no interior da torre e,

por ser o único pano onde se verifica a existência de solo junto aos silhares, estando os outros assentes e envolvidos por rocha, originando um rápido escoamento das águas pluviais sem que o material pétreo a possa absorver.

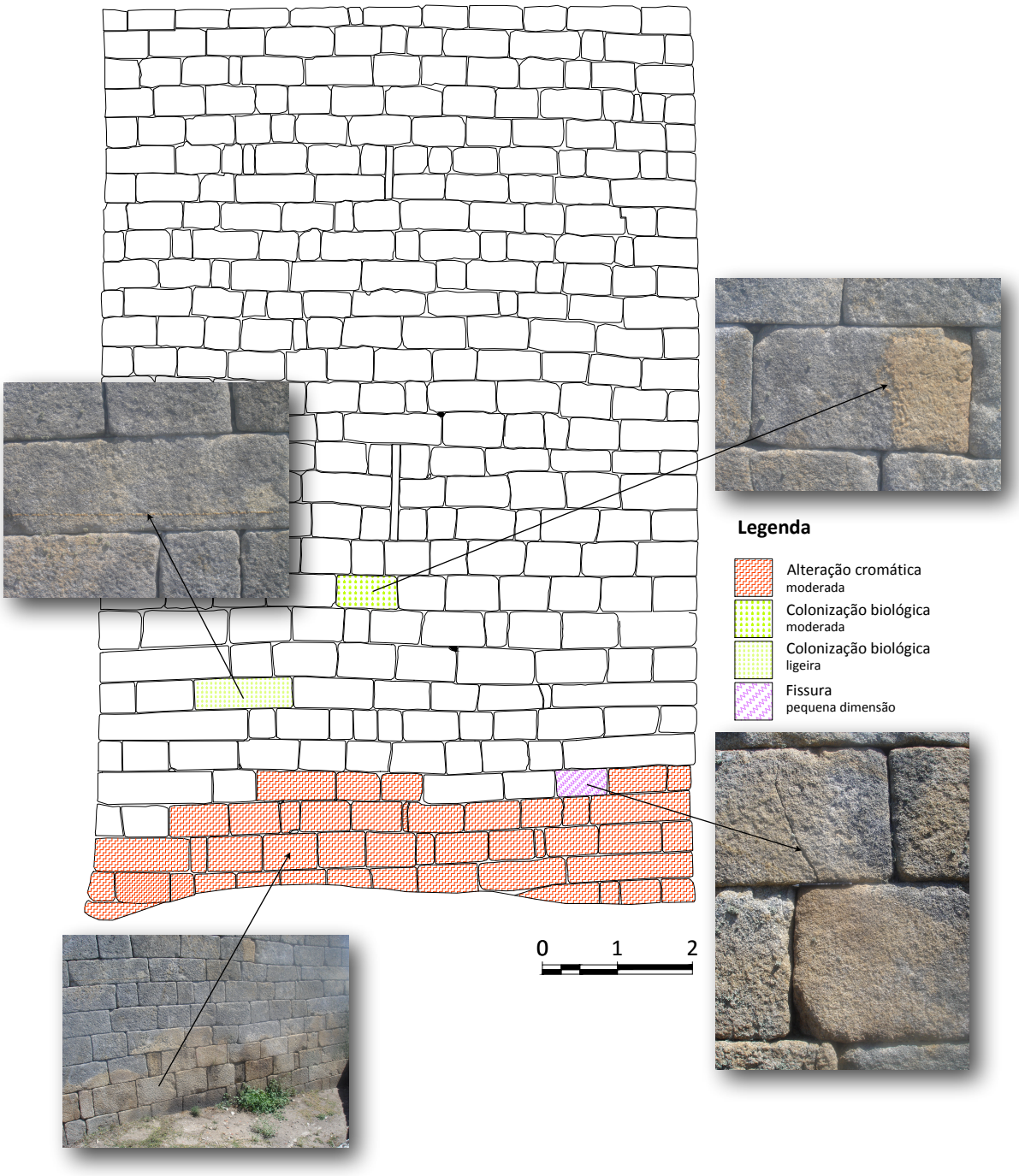


Figura 05.34 – Patologias verificadas no alçado sul da torre de menagem

5.5.3 - Muralha envolvente à Torre de Menagem

Além das muralhas envolventes de todo o recinto do castelo, existe uma muralha que envolve a torre de menagem que forma uma 2.ª cintura de proteção e de defesa daquele elemento. Este pequeno troço tem duas portas, uma virada a oeste e outra a sul e, como os restantes elementos, toda ela é assente sobre o maciço rochoso existente, pelo que as patologias detetadas são, em tudo idênticas às referidas na própria torre.

De seguida descrever-se-á algumas situações patológicas que se evidenciam, tanto no pano interior como exterior deste troço.

Na zona interior do alçado norte, onde existem dois acessos (escadas) ao topo da muralha, não se verificam situações patológicas relevantes, destacando-se alterações cromáticas pontuais em silhares isolados, bem como, alguma desagregação granular em silhares junto à base, onde são visíveis as partículas de rocha provenientes desse fenómeno (figura 05.35).

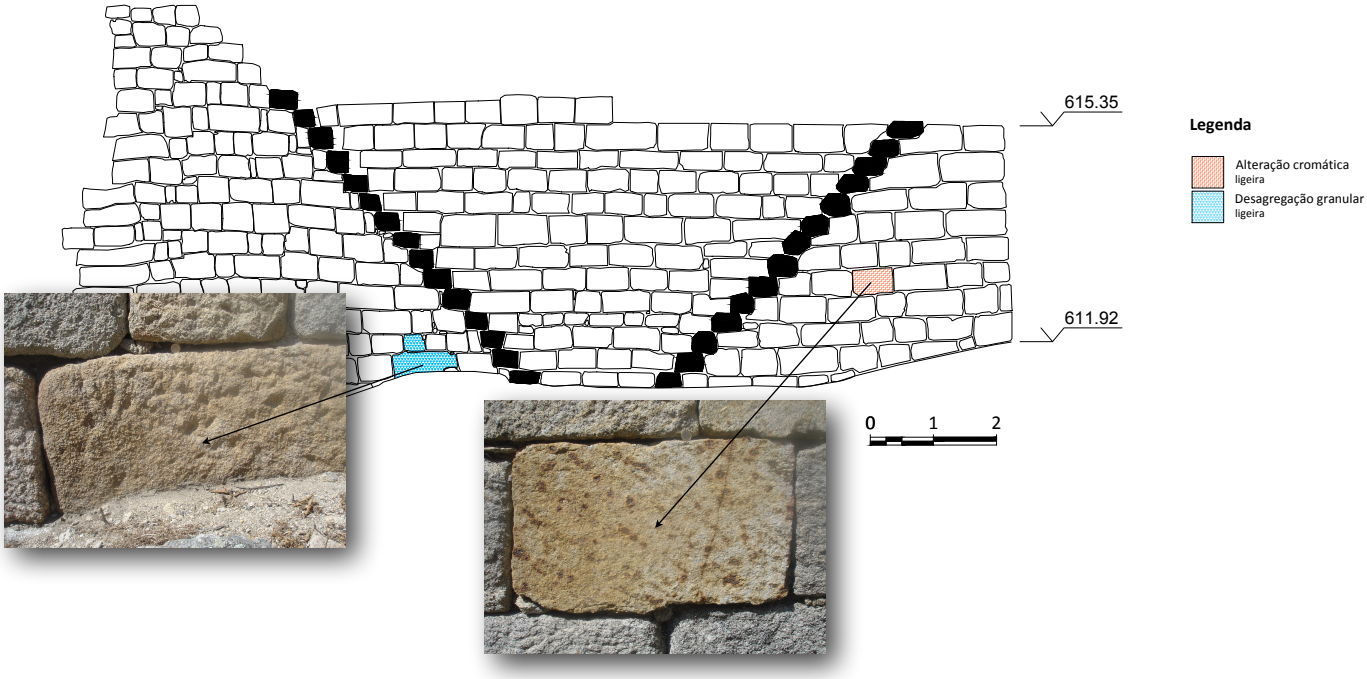


Figura 05.35 – Patologias verificadas no alçado norte do pano interior da muralha envolvente à torre de menagem

No pano interior do alçado oeste, realça-se um deslocamento de silhares junto à base, o qual teve como consequência a abertura das juntas e a fraturação de algum material pétreo (figura 05.36). A fraturação acontece nos silhares junto à base, sendo que em altura, apenas se verifica a continuação da junta aberta, diminuindo de dimensão até se tornar imperceptível.

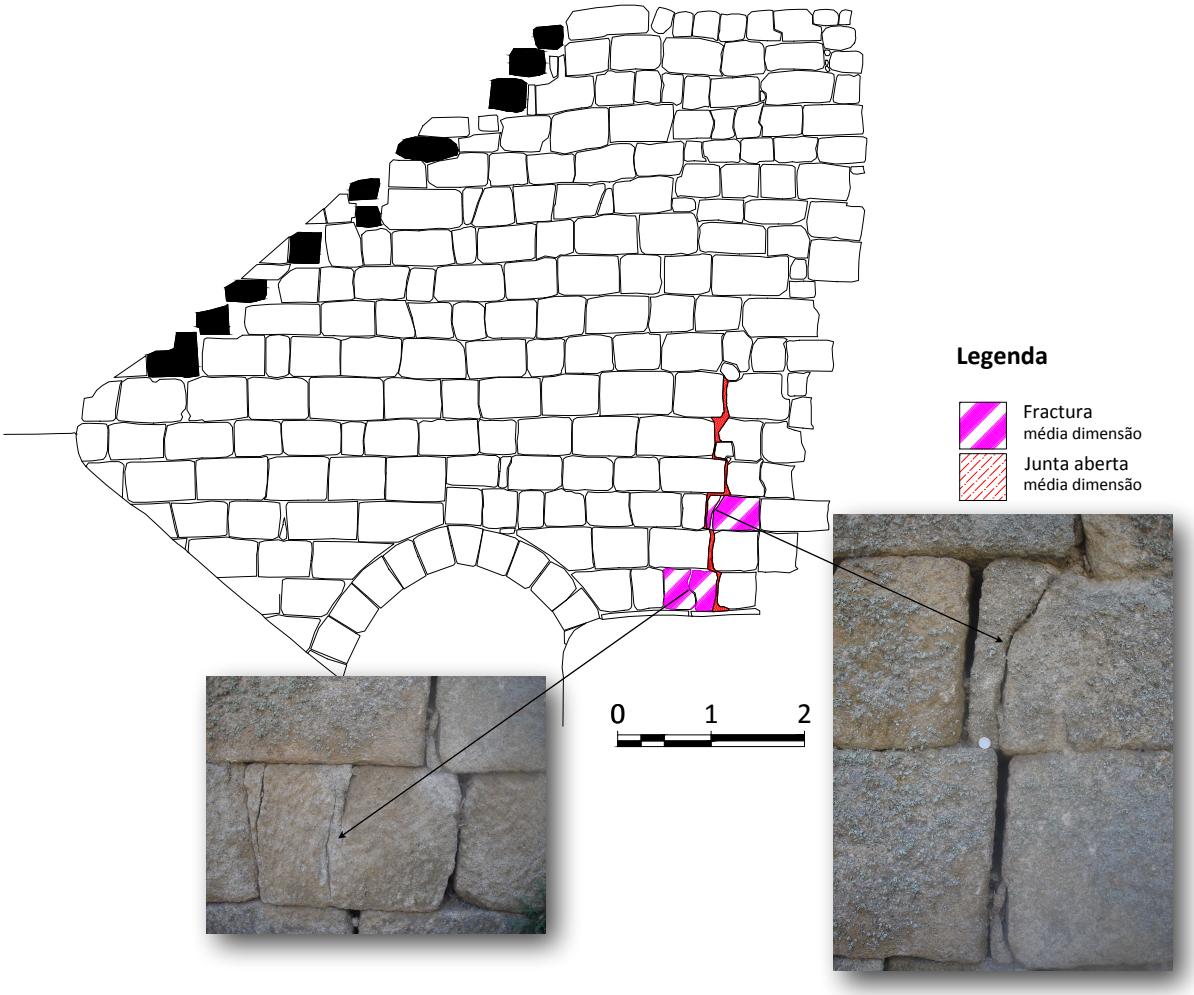


Figura 05.36 – Patologias verificadas no alçado oeste do pano interior da muralha envolvente à torre de menagem

No que diz respeito ao pano interior do alçado este/sul (figura 05.37), pode-se encontrar alguma vegetação ligeira junto à base e inserida nas juntas entre os silhares. A maior parte das situações patológicas relevantes acontecem junto à porta, onde se pode verificar um deslocamento dos silhares constituintes do arco. No interior do vão, verificam-se patologias semelhantes às já detetadas nos restantes troços de muralha, destacando-se aqui, o avançado estado patológico de cada situação individual bem como no seu conjunto. Verificam-se deslocamentos de alguma dimensão com consequentes juntas abertas acentuadas, uma arenização generalizada em quase todos os silhares constituintes do interior do arco, dando este conjunto, um escorrimento de finos do interior do pano, pondo em risco a sua estabilidade.

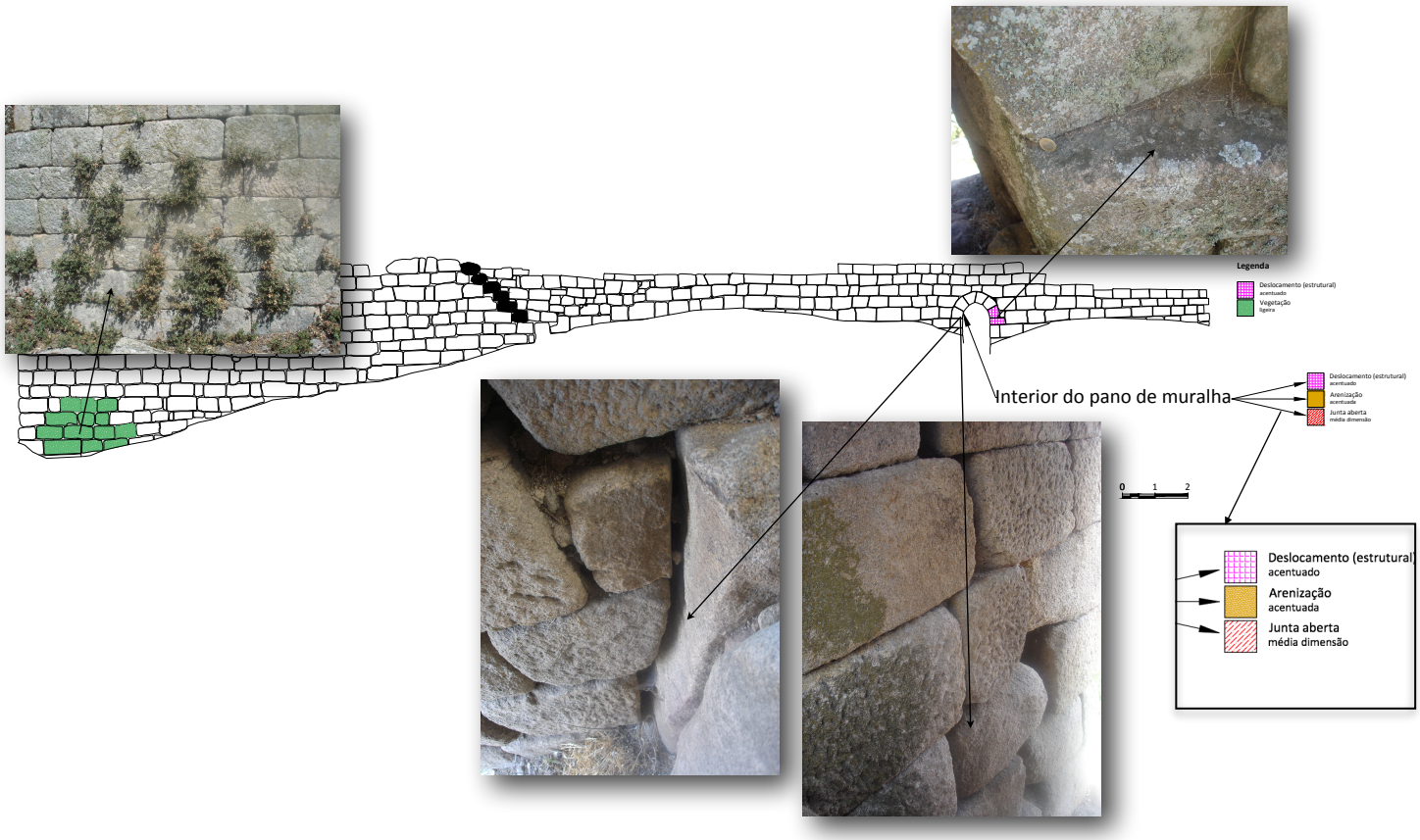


Figura 05.37 – Patologias verificadas no alçado este/sul do pano interior da muralha envolvente à torre de menagem

Pelo pano exterior do referido pano de muralha, no que diz respeito à zona virada a norte (figura 05.38), verifica-se também a presença de uma junta aberta e fraturação de silhares junto a um dos cunhais da muralha. Destaca-se a acumulação de partículas provenientes do fenómeno de arenização junto à base e algumas placas de dimensões consideráveis, bem como, um deslocamento de um dos silhares tendo originado uma lacuna, a qual foi preenchida por material pétreo proveniente do enchimento do interior do pano de muralha. Como se pode observar, sendo comum em todas as estruturas do castelo, com exceção da colonização biológica, a maioria das situações patológicas ocorrem junto à base dos panos, localizando-se as mais graves (deslocamentos, fraturas e fissuras) juntos aos cunhais.

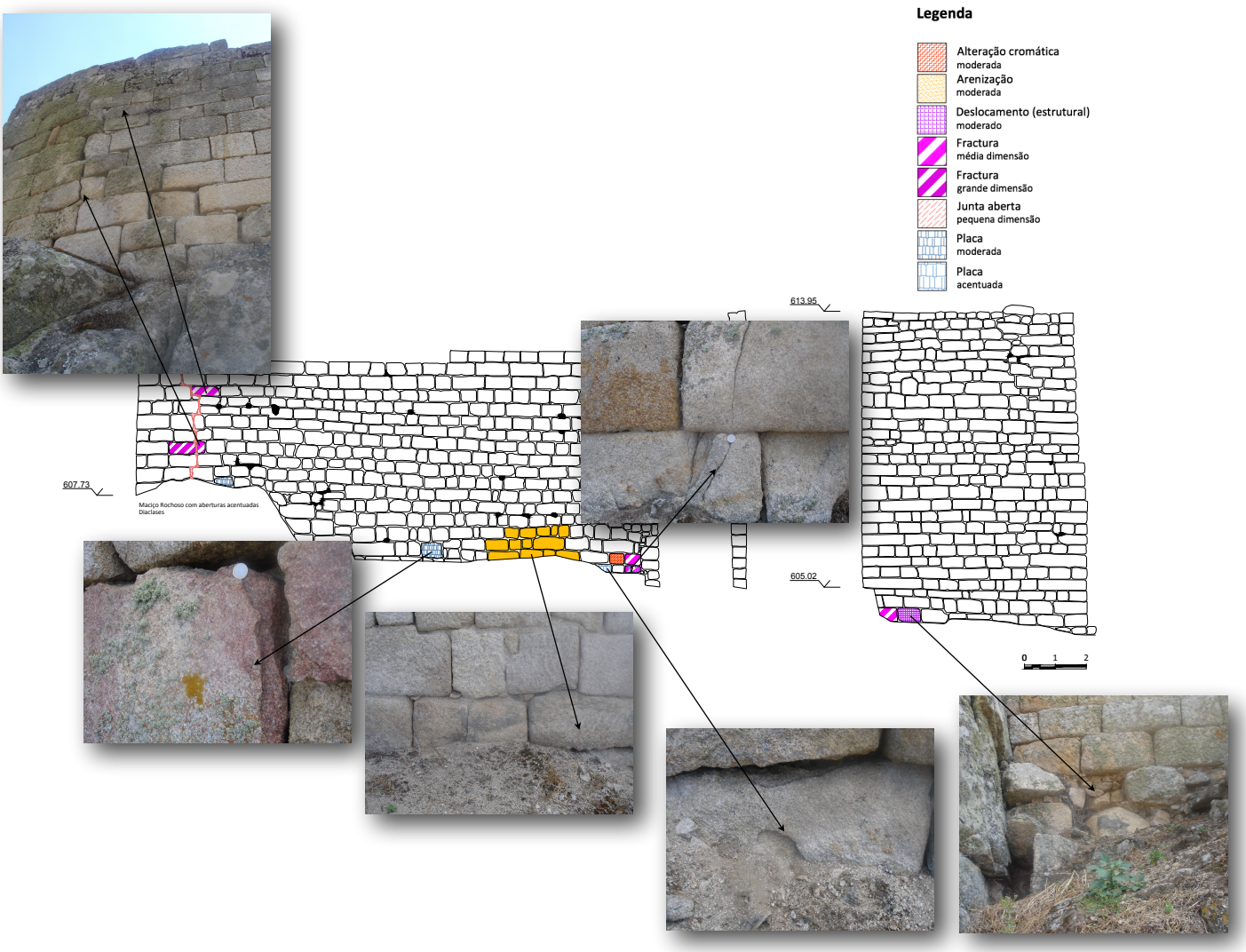


Figura 05.38 – Patologias verificadas no alçado norte do pano exterior da muralha envolvente à torre de menagem

No pano exterior do alçado este/sul, podem-se verificar patologias semelhantes às já referidas para o pano interior do mesmo troço. As situações patológicas mais visíveis e de maiores dimensões estão localizadas junto ao vão, destacando-se a junta aberta e a fraturação de silhares de grandes dimensões. Realçar que todo este troço está assente sobre o maciço rochoso com uma grande quantidade de diaclases de várias dimensões e orientações, podendo dar origem a deslocamento dos silhares da base, como se pode observar na figura 05.39, onde esse fenómeno está a ocorrer numa zona adjacente à que ruiu em 2001. Existe também a presença de colonização biológica acentuada junto ao topo da muralha, a qual pode ter tido origem pela inclinação do revestimento do caminho de ronda, a qual encaminha as águas pluviais para a zona mais colonizada.

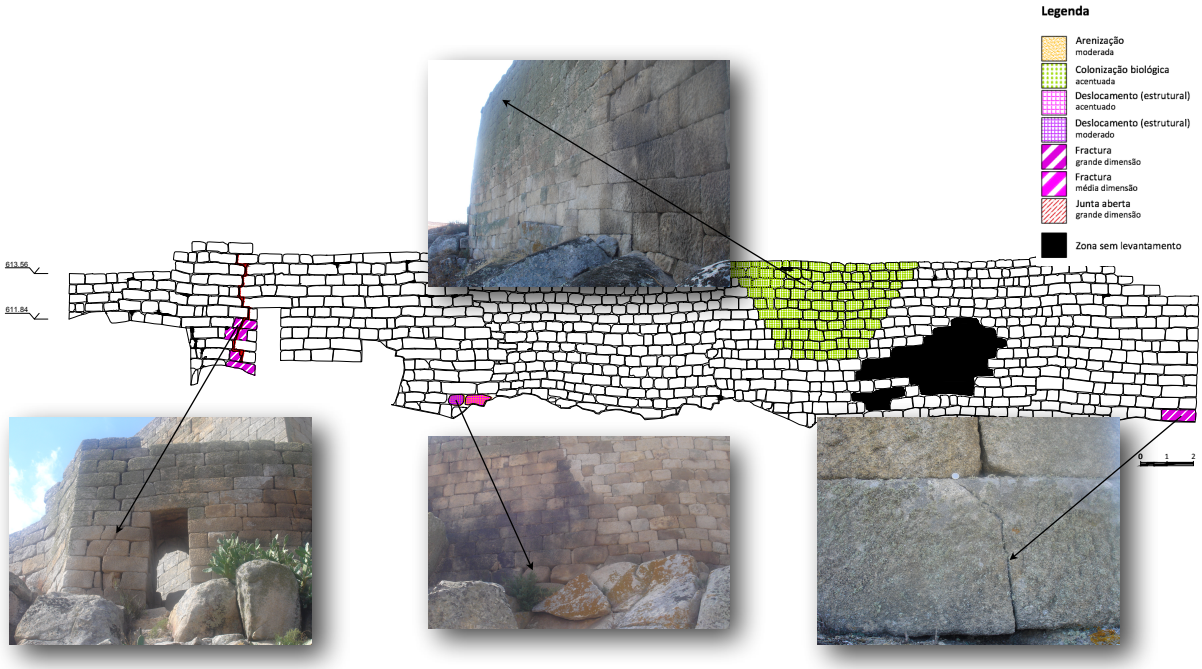


Figura 05.39 – Patologias verificadas no alçado este/sul do pano exterior da muralha envolvente à torre de menagem

5.5.4 - Igreja de S. Tiago

Como já se referiu no sub-capítulo 5.4.1, a igreja e capela existentes no interior do recinto foram alvo de obras de conservação no ano de 2004. Apesar da intervenção ter sido realizada respeitando o tipo de edifício no que diz respeito aos materiais e metodologias utilizadas, verificam-se algumas patologias no que diz respeito aos materiais pétreos constituintes.

No alçado este (figura 05.40), destaca-se a arenização acentuada de alguns silhares com grande perda de massa e consequente junta aberta, bem como a presença de placas moderadas em apenas dois silhares de todo o alçado.

No que diz respeito ao alçado oeste (figura 05.41), as situações patológicas estão localizadas junto ao cunhal direito onde, como tem ocorrido nas outras zonas, se verifica o deslocamento de silhares, a junta aberta diminuindo de dimensão em altura e a fissuração e fraturação dos silhares junto à base.

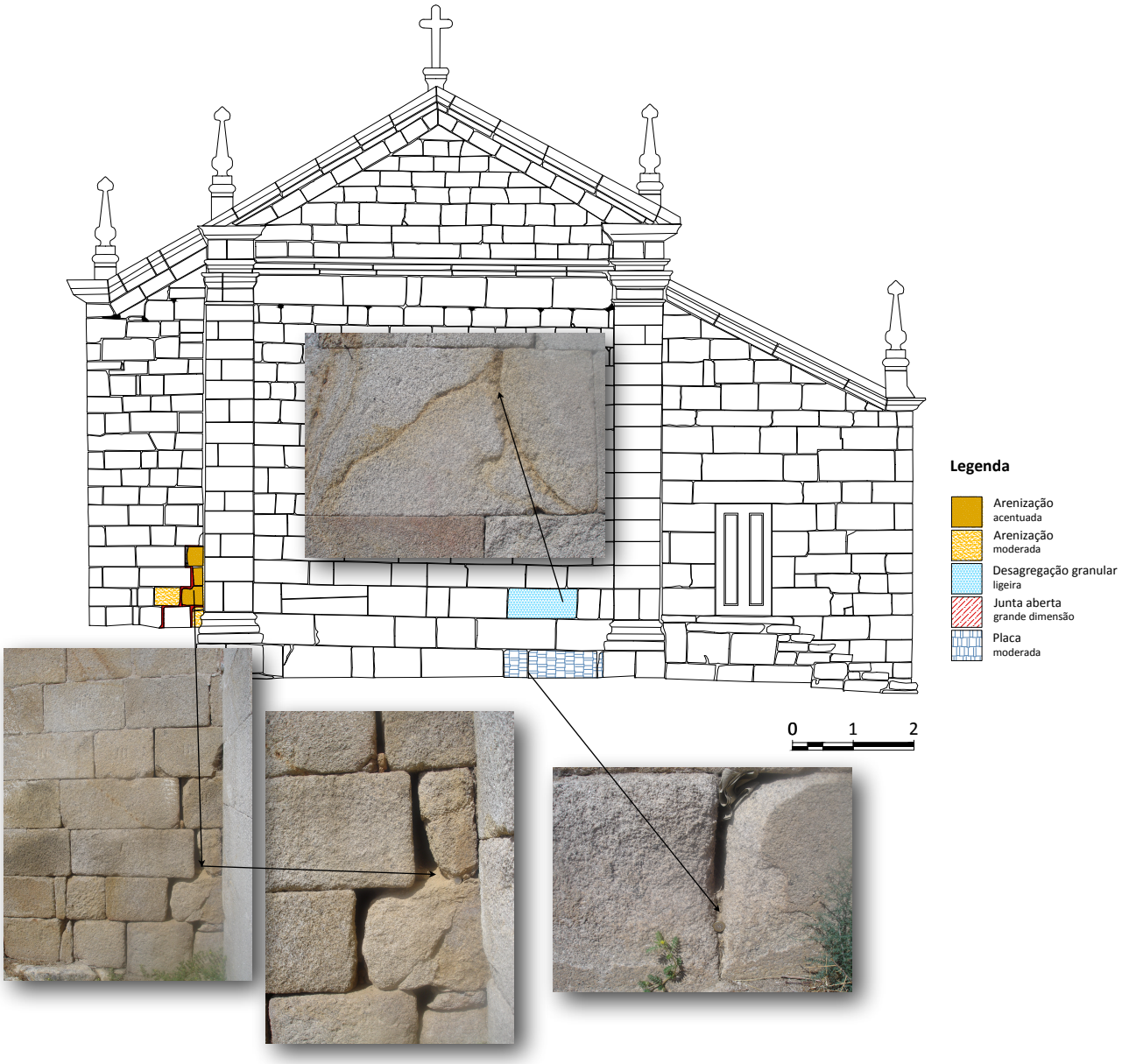


Figura 05.40 – Patologias verificadas no alçado este da Igreja de S. Tiago

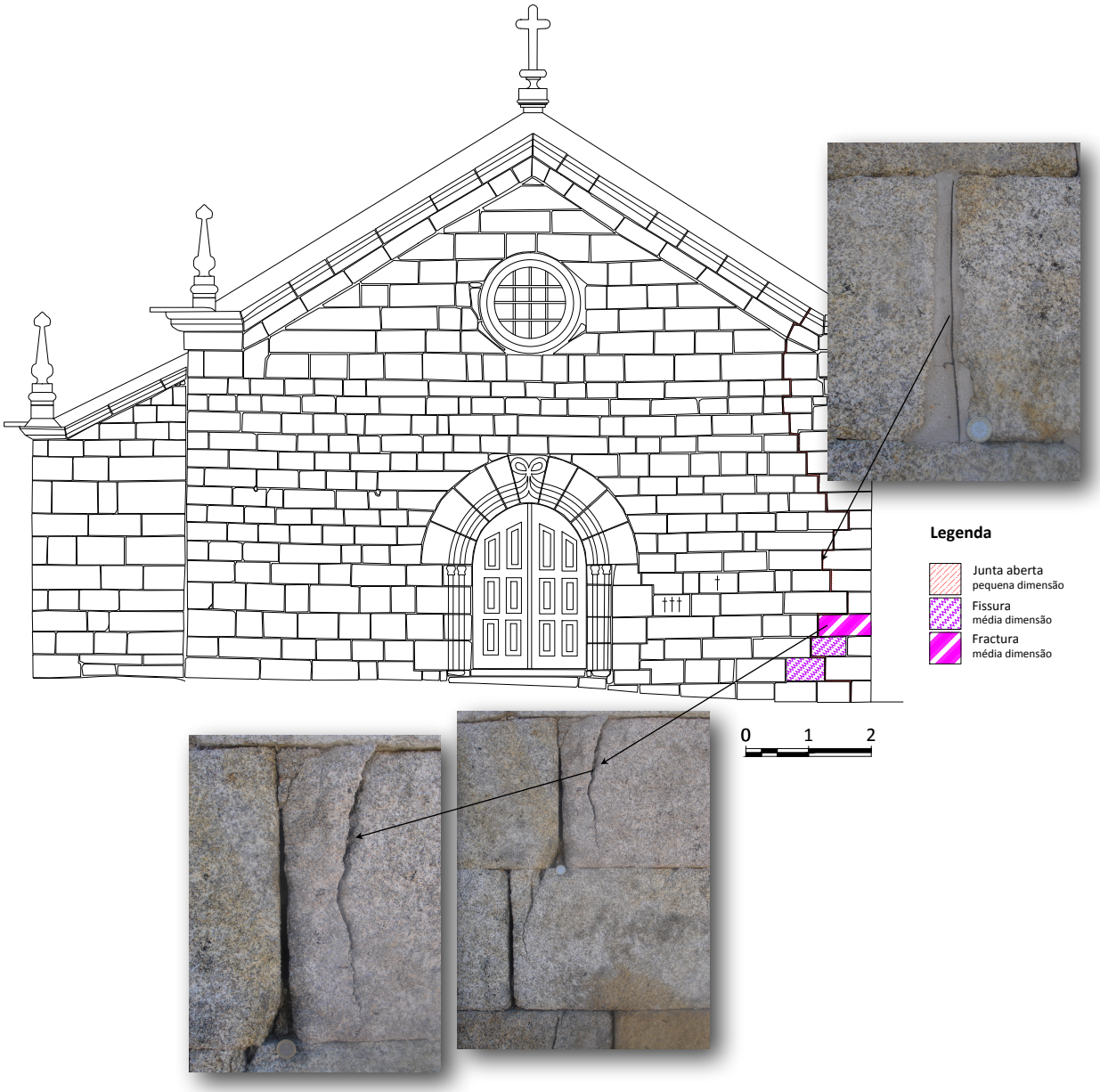


Figura 05.41 – Patologias verificadas no alçado oeste da Igreja de S. Tiago

5.5.5 - Muralhas envolventes

Foi no perímetro muralhado de todo o castelo onde, na última década, existiram mais intervenções por parte da entidade gestora do Monumento. Estas intervenções tiveram origem nas várias derrocadas que foram surgindo, havendo a necessidade de repor a estabilidade dos panos de muralha, bem como, garantir que o acesso ao recinto fosse feito de forma

controlada, somente pela porta principal, e não pelas zonas derrocadas onde, até se terem concluído as intervenções, eram entrada de pessoas com o intuito de vandalismo e consequente destruição de património ainda existente.

No pano exterior destas muralhas, encontram-se situações patológicas em tudo semelhantes às já descritas e ilustradas para o interior do recinto muralhado, embora como se pode verificar na figura 05.42, se encontram zonas com vegetação de alguma dimensão, normalmente encastrada nas juntas dos paramentos, dando origem a aberturas das juntas e deslocamentos dos paramentos. Esta situação deve-se ao fato da manutenção do espaço do castelo ser feita essencialmente no seu interior e, nas zonas de menor passagem por parte dos visitantes, estes trabalhos de manutenção não serem realizados com a mesma frequência. No alçado sul, destaca-se ainda alguns deslocamentos de silhares quase sempre associados a lacunas existentes na base da muralha.

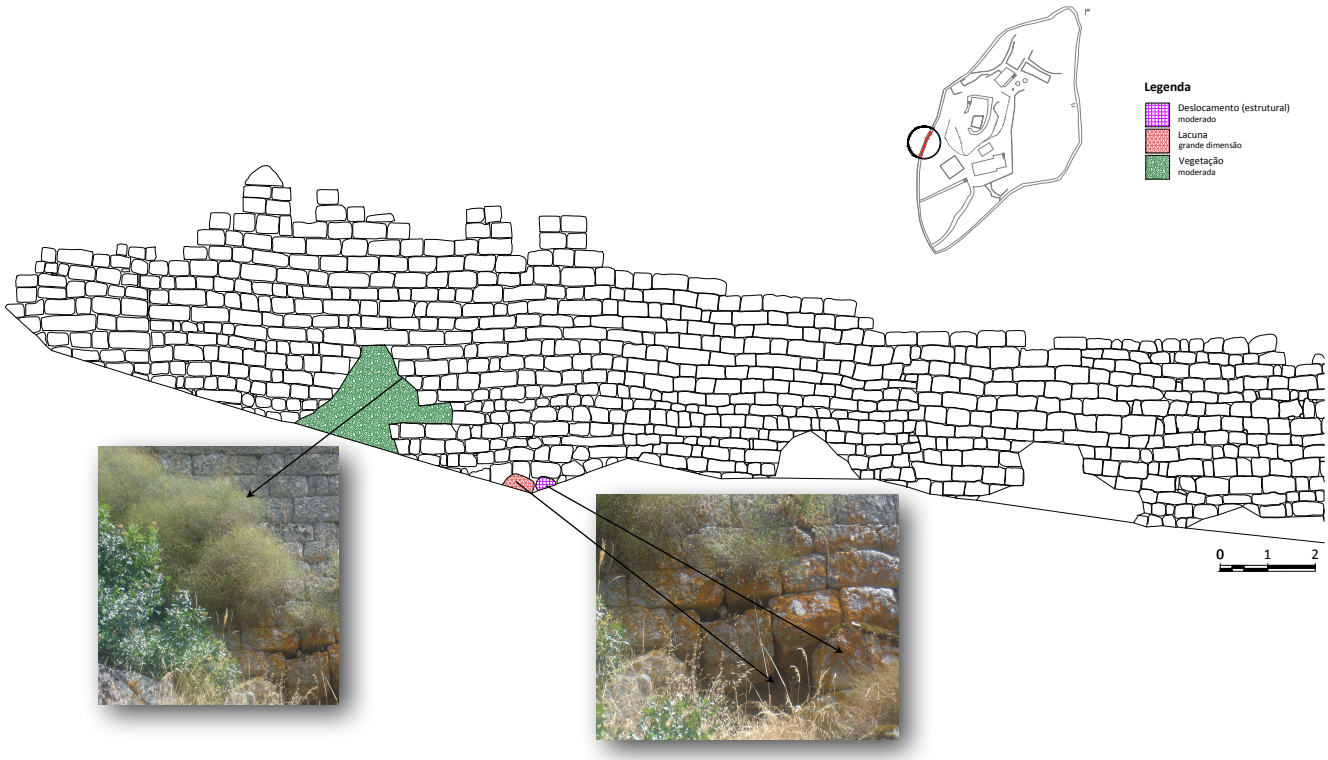


Figura 05.42 – Patologias verificadas no alçado sul do pano exterior da muralha envolvente do recinto

Ainda no alçado sul, junto à porta do Postiguinho, verifica-se uma grande extensão de silhares com alteração cromática acentuada (figura 05.43). Esta situação pode dever-se à existência de aterros na zona interior com acumulação de águas pluviais e onde se localiza o cemitério, ainda em uso pelo habitantes locais.

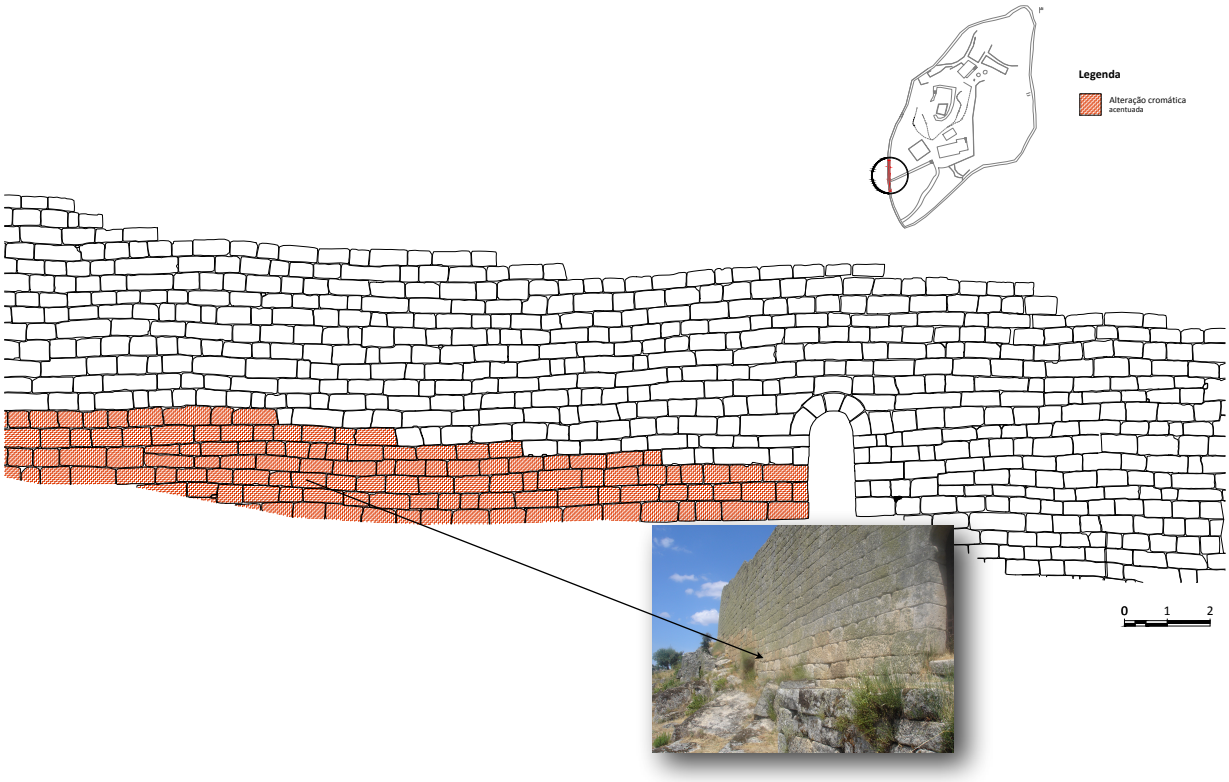


Figura 05.43 – Patologias verificadas no alçado sul do pano exterior da muralha envolvente do recinto

Quase na extremidade do pano deste alçado (sul), encontram-se várias situações de colonização biológica ligeira, mas de vários tipos, como se pode observar na figura 05.44. Embora este tipo de situação não tenha uma influência direta na resistência dos silhares, pode dar indicação das condições onde o material está inserido. Além de algumas fraturas que se encontram um pouco por todo o castelo, pode-se observar este fenómeno no maciço rochoso de suporte ao pano de muralha.

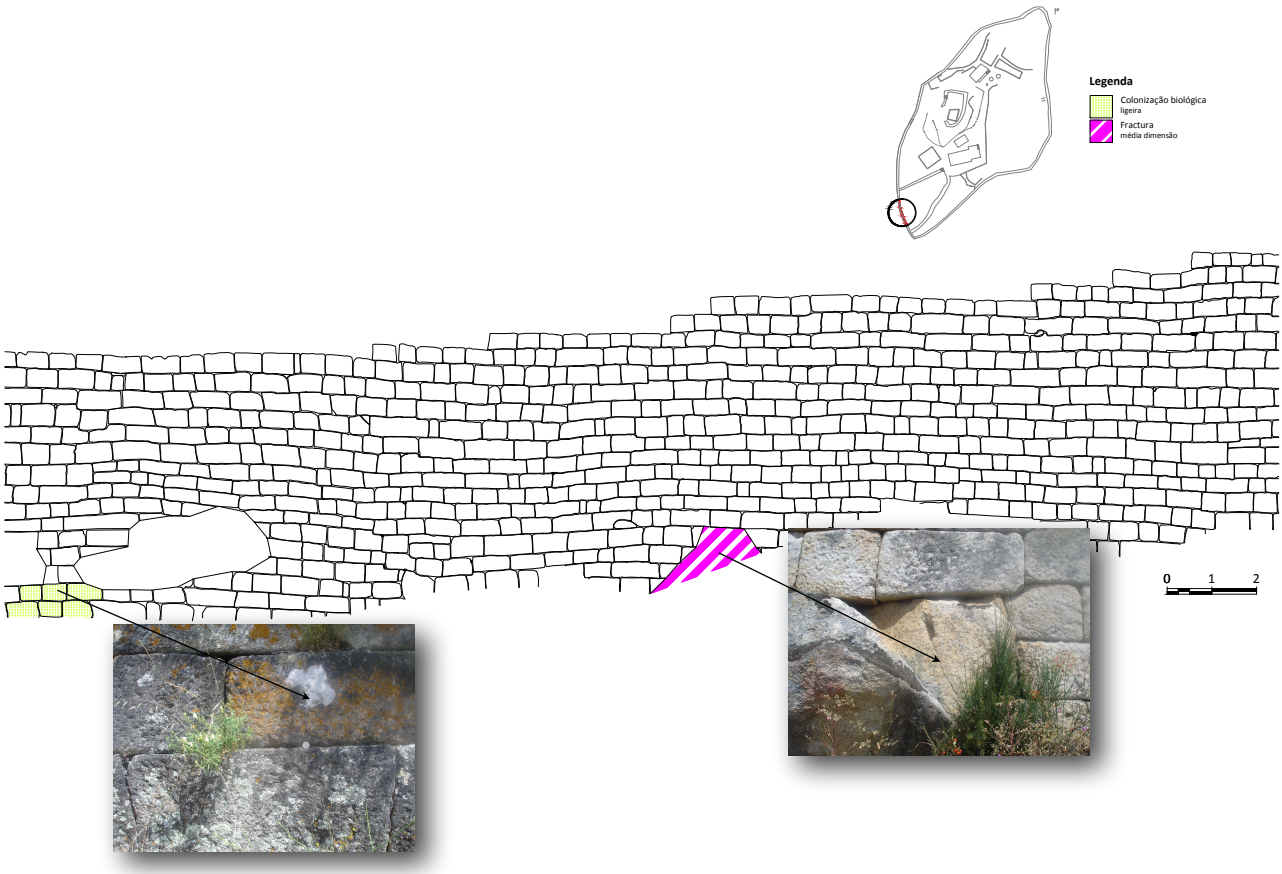


Figura 05.44 – Patologias verificadas no alçado sul do pano exterior da muralha envolvente do recinto

Na zona de transição entre o pano sul e este, regista-se alterações cromáticas acentuadas bem visíveis (figura 05.45). Neste caso, ao contrário do registado no caso anterior, não existem aterros nas zonas interiores, pelo que serão analisados os silhares com esta alteração, através da realização de ensaios "*in situ*", comparando os resultados com os elaborados nos silhares adjacentes que não apresentam esta situação.

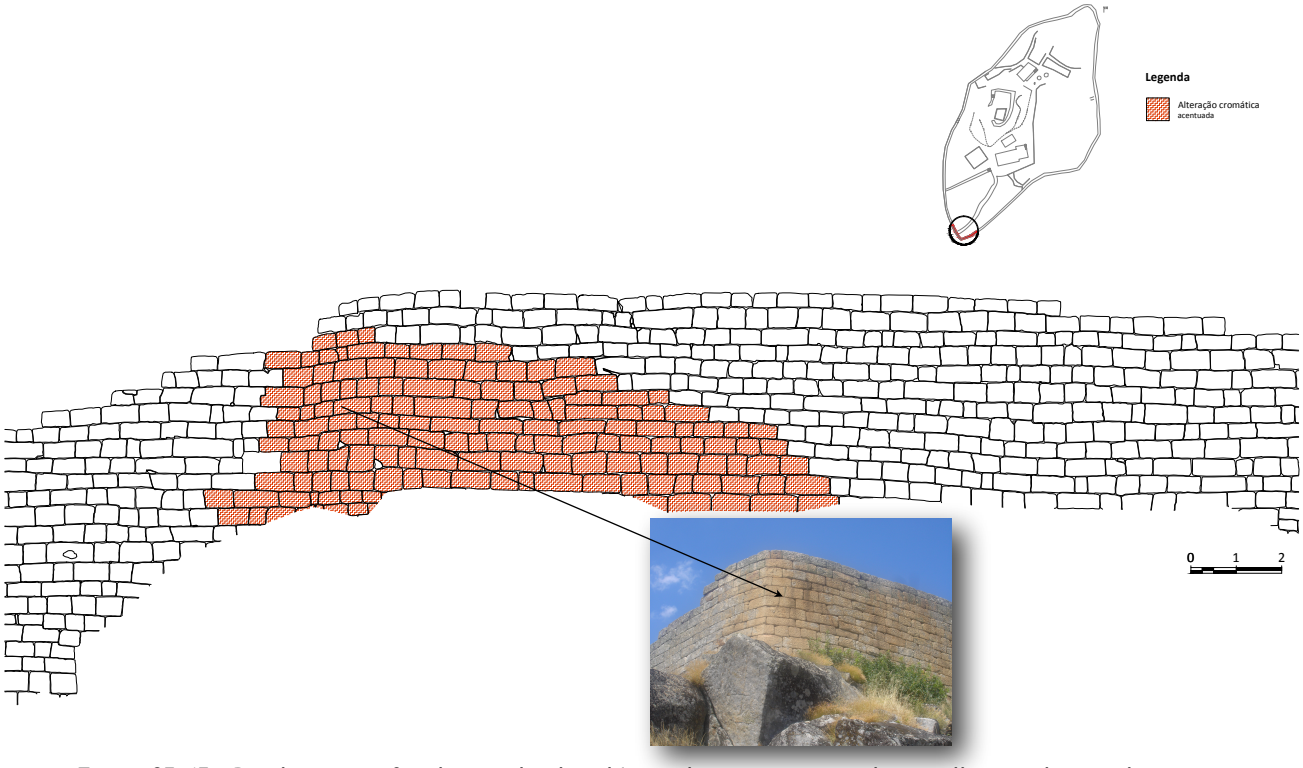


Figura 05.45 – Patologias verificadas no alçado sul/este do pano exterior da muralha envolvente do recinto

No alçado norte/oeste, junto à porta principal de acesso ao recinto (Porta do Anjo da Guarda), verifica-se a existência de um deslocamento do pano da muralha, sem abertura de juntas visíveis. Este deslocamento situa-se adjacente à zona intervencionada em 2001 (figura 05.46).

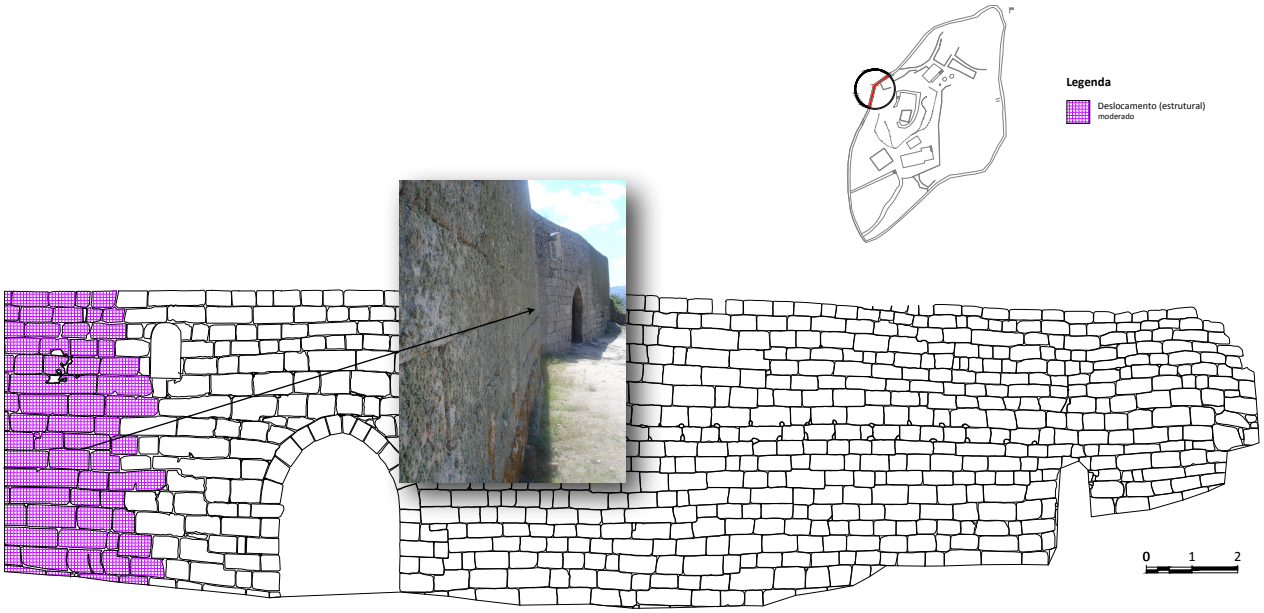


Figura 05.46 – Patologias verificadas no alçado norte/oeste do pano exterior da muralha envolvente do recinto

No que diz respeito ao pano interior destas muralhas, estas têm tido uma manutenção mais regular com a remoção da vegetação infestante, tanto nos paramentos, como na sua base e zona envolvente. Têm sido também recolocados os silhares sujeitos a pequenas derrocadas devido, principalmente a algumas situações climatéricas mais agressivas. Embora tenha havido uma política de conservação, encontram-se alguns fenómenos patológicos que se julga importante descrever e ilustrar.

No alçado este observam-se alguns deslocamentos de silhares junto à base associados a lacunas por falta de elementos pétreos. Outro fenómeno registado é a existência de cavernas de grandes dimensões no maciço rochoso de apoio ao pano de muralha (figura 05.47).

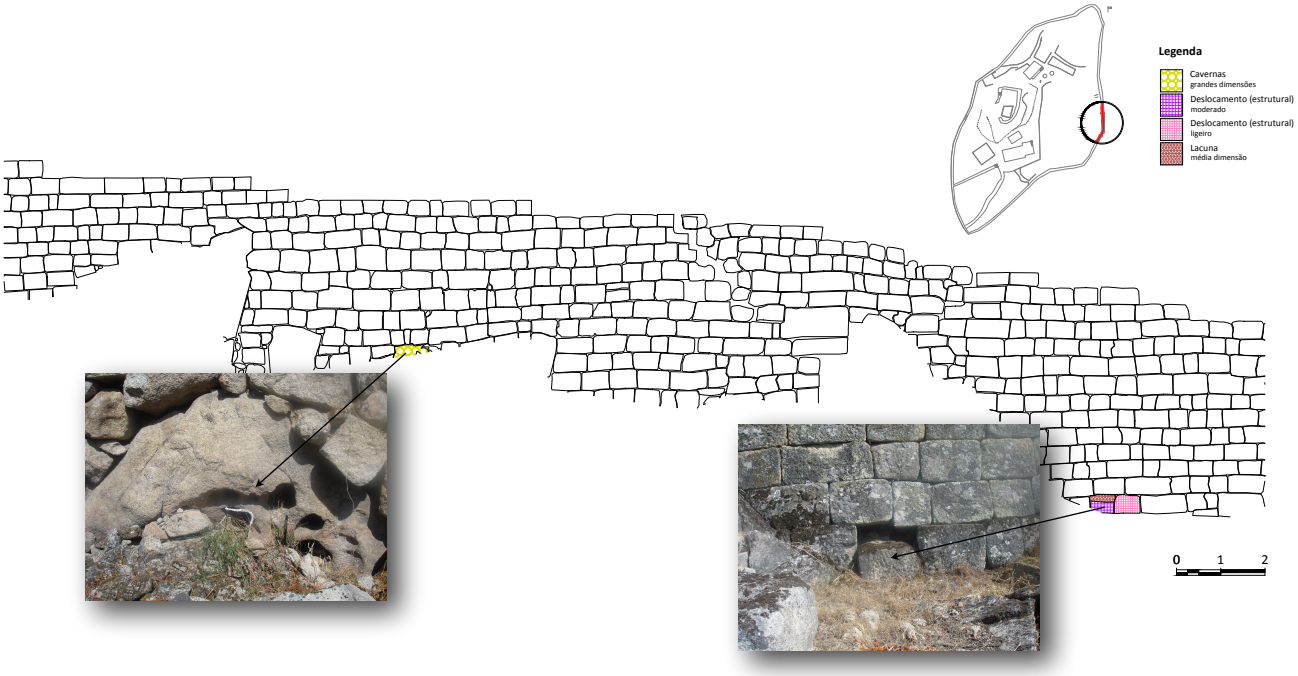


Figura 05.47 – Patologias verificadas no alçado este do pano interior da muralha envolvente do recinto

No interior da Porta de Santa Maria são várias a patologias verificadas, como se pode observar na figura 05.48. O escorrimento de águas pluviais pelo interior das muralhas é visível pelas eflorescências verificadas, podendo ter dado origem às restantes situações patológicas registadas. Andando mais para este, encontra-se uma zona com deslocamento e fratura de silhares, com consequente abertura de juntas e escorrimentos de finos.

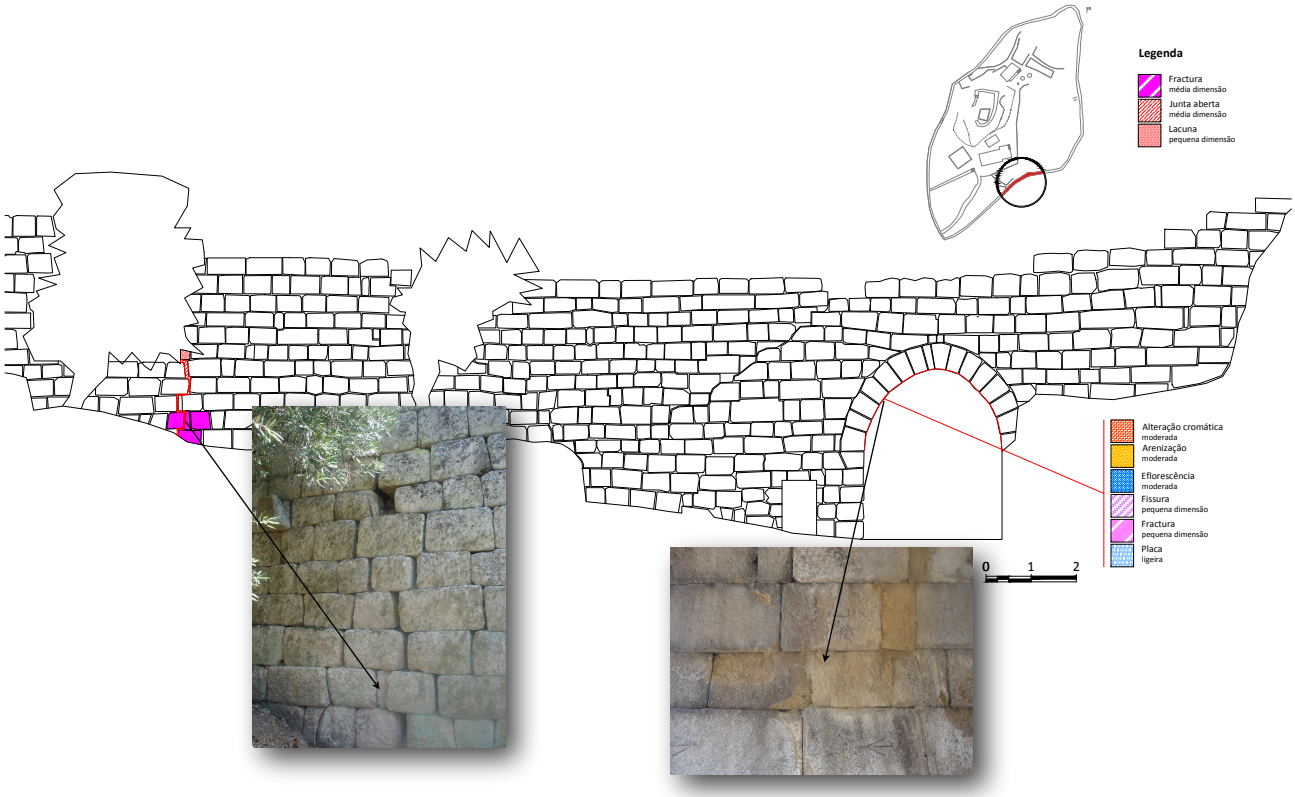


Figura 05.48 – Patologias verificadas no alçado este e Porta de Santa Maria do pano interior da muralha envolvente do recinto

No pano do alçado oeste, o qual nunca teve qualquer tipo de intervenção ao longo do tempo, verificam-se algumas situações patológicas estruturais de relevância, tais como o deslocamento bastante acentuado dos silhares constituintes do pano e fraturas (figura 05.49). Destaca-se a quantidade e as dimensões dos fenómenos patológicos.

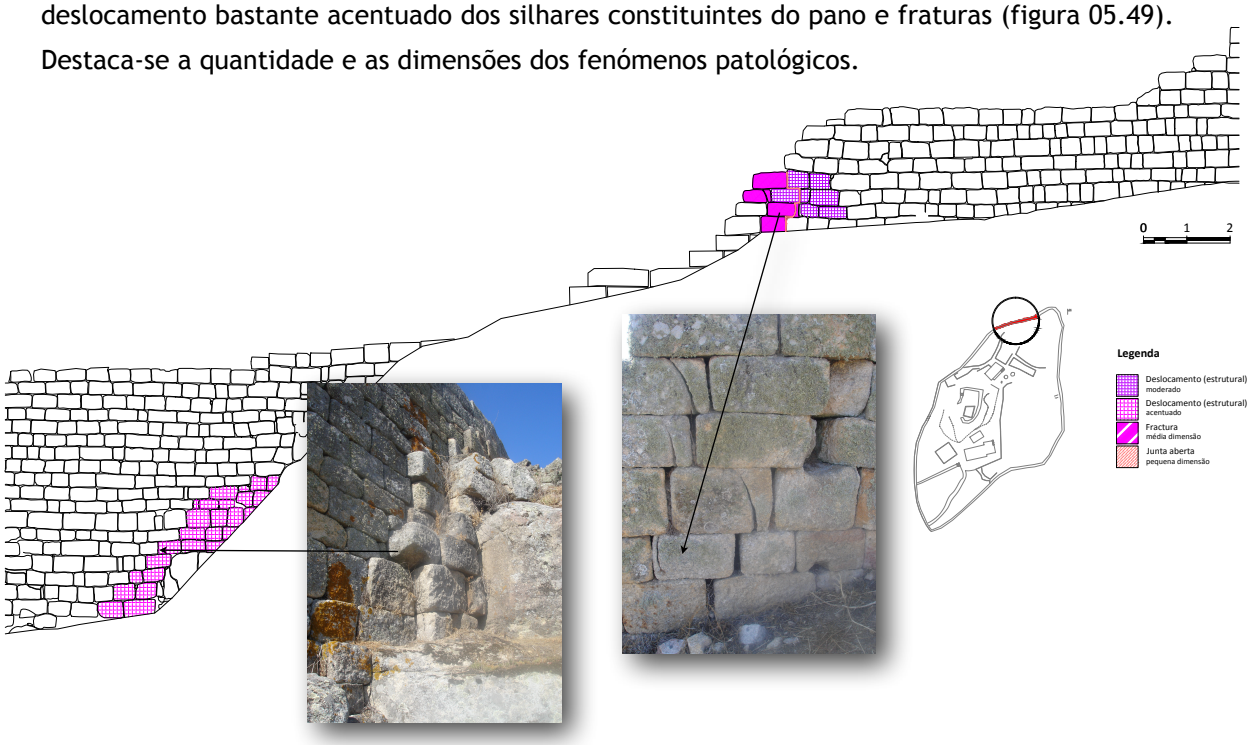


Figura 05.49 – Patologias verificadas no alçado oeste do pano interior da muralha envolvente do recinto

6 – Ensaios "*In Situ*" e Laboratoriais

A inspeção mais simples, mas essencial, é feita a olho nu ou com auxílio de dispositivos que potenciem a capacidade visual. Este tipo de inspeção destina-se, sobretudo, a uma avaliação das caraterísticas geométricas das estruturas, da sua constituição, bem como da identificação genérica dos seus materiais constituintes e das situações patológicas presentes. No caso do presente estudo, esse trabalho foi apresentado no capítulo anterior, onde foram descritas e caraterizadas as principais patologias encontradas no Castelo de Marialva.

Dada a evolução e investigação dos ensaios de inspeção, no que diz respeito às técnicas não-destrutivas e semi-destrutivas, é hoje possível recorrer a um grande número de técnicas e instrumentos que facilitam as observações feitas no local. Segundo Cóias (2006), estas técnicas e ensaios podem proporcionar dados muito relevantes para uma futura intervenção de conservação, reparação e recuperação, ajudando a:

- Recolher a informação necessária para avaliar a capacidade de desempenho da construção;
- No caso de existirem danos, deficiências ou anomalias, determinar as suas causas, possibilitando assim, uma intervenção mais adequada;
- Avaliar corretamente a importância e a extensão das degradações existentes;
- Adotar medidas corretivas menos intrusivas e melhor adaptadas;
- Definir e planear atempadamente as intervenções;
- Monitorizar o comportamento dessas intervenções.

No que diz respeito às áreas de inspeção, segundo o mesmo autor (Cóias, 2006), podem-se distinguir três grandes áreas de recolha de informação, sendo elas:

I. Da construção, seus elementos e materiais;
II. Da envolvente e das ações sobre a construção;
III. Do comportamento da construção.

Sendo o presente caso de estudo um monumento nacional, as restrições para a realização de ensaios são inúmeras, uma vez que estes não poderão danificar nem pôr em causa os elementos ensaiados. Os ensaios "*in situ*" realizados neste tipo de estruturas terão que ser não destrutivos, embora, segundo Cóias (2006), poucos o são completamente, pois provocam alguns danos localizados, mas em geral facilmente reparados. Assim estes ensaios deverão ter uma designação de "ensaios reduzidamente destrutivos" ou ensaios "não totalmente não destrutivos".

No quadro 06.01, é apresentada uma proposta de classificação dos danos causados por ensaios não totalmente não destrutivos.

Quadro 06.01 – Classificação dos danos causados por ensaios não totalmente não destrutivos (Cóias, 2006)

Classificação dos danos	Descrição	Exemplos	Medidas de reparação	Construções em que é aceitável
1 Irrelevantes	Visíveis apenas se procurados, não visíveis às distâncias normais de observação	Marcas de martelo, riscos, manchas de água	Nenhumas. Escovagem	Todas
2 Ligeiros	Visíveis de perto, mas geralmente imperceptíveis	Furos de pequeno diâmetro, danos de pequenos penetrómetros	Reparação com argamassa da mesma cor	Todas, excepto em edifícios classificados, em zonas perto dos utentes
3 Médios	Óbvios, mas sem relevância estrutural ou para a durabilidade, a curto prazo	Remoção de material de juntas, remoção de pequenas unidades de alvenaria, carotes de pequeno diâmetro	Substituição da unidade e reparação da junta com argamassa expansiva	Todas, excepto em edifícios classificados, em zonas perto dos utentes
4 Significativos	Muito óbvios. Podem exigir medidas de segurança se não forem reparados (por exemplo, preenchimento, provisório, barreiras para o público)	Remoção de pequenas áreas de alvenaria, carotes de grande diâmetro	Reconstrução com materiais idênticos ou costura sobre a carotagem	Aceitável temporariamente em edifícios recentes e estruturas classificadas não acessíveis
5 Sérios	Muito óbvios. Exigem medidas de segurança se não forem reparados (por exemplo, escoramentos, barreiras). Podem requerer estudo de redistribuição temporária das cargas	Extensas áreas de alvenaria removidas ou realização de ensaios pesados	Reconstrução com materiais idênticos	Aceitável apenas se impedido o acesso do público

No caso dos edifícios antigos, por norma, não se consegue obter uma informação fidedigna sobre as caraterísticas dos materiais dos elementos constituintes, só se conseguindo através de ensaios semi-destrutivos ou destrutivos, realizados quer "*in situ*", quer sobre provetes retirados dos edifícios e ensaiados em laboratório (Cóias, 2006).

6.1 - Ensaios "*In Situ*" não destrutivos

No presente trabalho, optou-se pela realização de ensaios de campo considerados, pela classificação dos danos, de irrelevantes e ligeiros, sendo os seus resultados comprovados através de ensaios laboratoriais, em silhares retirados do local provenientes das diferentes derrocadas.

Embora estejam à disposição um grande número de tipos de ensaios, consoante a análise pretendida, conforme se pode observar no quadro 06.02, optou-se pela realização de ensaios muito expeditos, de fácil execução e análise e de custos reduzidos, o que vai de encontro com os objetivos deste trabalho.

Quadro 06.02 – Principais inspeções e ensaios para intervenções estruturais em edifícios antigos (Cóias, 2007)

Inspecções, ensaios / Técnicas e dispositivos	I&E COMPLEMENTARES							
	I&E preliminares	Levantamento da geometria e das anomalias	Caracterização das propriedades dos materiais	Caracterização da envolvente	Validação do modelo	I&E de controlo da qualidade	I&E finais	Monitorização
Alongâmetro mecânico					X			X
Boroscopia e videoscopia	X	X				X	X	
Célula de carga					X			X
Corte semidestrutivo			X					
Ensaio de carga					X	X	X	
Ensaio sónico e ultra-sónico		X				X	X	
Extensómetro de corda vibrante					X			X
Extensómetro eléctrico					X			X
Extracção de uma hélice	X		X					
Fissurómetro de corda vibrante					X			X
Fissurómetro *telltale*								X
Furos instrumentados					X			
Impulso mecânico			X			X	X	
Inclinómetro					X			X
Inspecção visual por especialista	X							
Levantamento visual de anomalias	X	X	X				X	
Macaco plano			X		X		X	
Martelo de *Schmidt* pendular	X		X					
Impacto-Eco		X						
Medição de vibrações					X		X	X
Medidor óptico de fissuras	X							
Pêndulo e telecoordenómetro					X			X
Penetração	X		X					
Penetrómetro e SPT			X					
Percussão		X						
Radar		X				X		
Resistografia			X					
Teodolito automático					X			X
Termografia		X						
Termopar e termómetro				X	X			X
Topografia e fotogrametria		X						
Vibração forçada					X		X	X

Embora as técnicas e dispositivos atrás ilustrados digam respeito à análise de elementos estruturais, algumas poderão ser adaptadas na análise de patologias nos seus elementos pétreos.

Foram assinaladas, no quadro anterior, as técnicas usadas no caso de estudo. Como se pode observar, consegue retirar-se um conjunto de dados relevantes para a caracterização dos materiais e das anomalias existentes. A exceção é o parâmetro da validação do modelo, uma

vez que esta componente diz respeito aos elementos estruturais, embora no presente caso, os resultados dos ensaios "*in situ*", serão validados por ensaios em laboratório.

Pelo que já foi descrito, optou-se pela utilização dos seguintes equipamentos e técnicas nos silhares do Castelo de Marialva:

- Martelo de Schmidt;
- Pistola de Windsor;
- Ultra-sons.

As restantes técnicas assinaladas (inspeção visual por especialista, levantamento visual de anomalias e fotogrametria), já foram ilustradas e descritas no capítulo 5 do presente trabalho.

6.1.1 - Esclerómetro ou Martelo de Schmidt

6.1.1.1 - Descrição do ensaio

A resistência das rochas pode ser avaliada através de ensaios de compressão uniaxial ou triaxial. No caso específico dos monumentos, pela dificuldade da recolha de amostras para laboratório e de se proceder a este tipo de ensaios, surge a necessidade da realização de ensaios no local, em que os resultados possam ser facilmente correlacionados com a resistência à compressão simples.

Um dos ensaios escolhidos para se proceder a essas correlações, foi o esclerómetro ou Martelo de Schimdt, seguindo as recomendações de Gonzalez de Vallejo et al. (2002).

Existem no mercado pelo menos oito modelos de Esclerómetros, os quais de dividem em três tipos: R, N e L; tendo sido este último utilizado nos ensaios realizados, uma vez que é o mais adequado para a caracterização dos maciços rochosos, tendo uma energia de impacto de 0,735 N.m, enquanto que o martelo do tipo N, com uma energia de impacto de 2,207 N.m, é o mais utilizado em estudo de betões.

Segundo a recomendação, o martelo deve ser calibrado para a temperatura do local a ensaiar, através da realização de um ensaio em material próprio (bigorna) fornecido pelo fabricante.

No presente caso de estudo, o ensaio realizado na bigorna registou um valor de R = 74, pelo que não surgiu a necessidade de executar qualquer correção nos valores posteriormente obtidos no material de ensaio.

Este ensaio consiste num aparelho que permite um ensaio de campo que avalia a dureza do material-rocha através da medição do ressalto ("Rebound", R) de uma massa de aço quando percutida sobre a superfície da rocha. Na execução do ensaio, o aparelho deverá ser colocado perpendicularmente à superfície estrutural a ser ensaiada. Em função da dureza (ou resistência) da rocha, a massa de aço sofre maior ou menor ressalto, seguidamente, o valor do ressalto é registado numa escala do aparelho que vai de 10 a 100 (Pereira, 2007).

Os valores estimados da resistência à compressão uniaxial, podem obter-se a partir de ábacos (figura 06.01), em que se tem em conta o valor de R obtido no ensaio, a densidade da rocha ensaiada (no presente caso de 26kN/m^3) e com a orientação do martelo em relação à superfície de rocha ensaiada.

O valor estimado deve ser obtido estatisticamente, de tal maneira que seja um valor representativo da resistência em causa. A ISRM (2007) recomenda a realização de 10 medições em cada superfície ensaiada, eliminando os 5 valores mais baixos e tomando como valor a média dos 5 mais elevados.

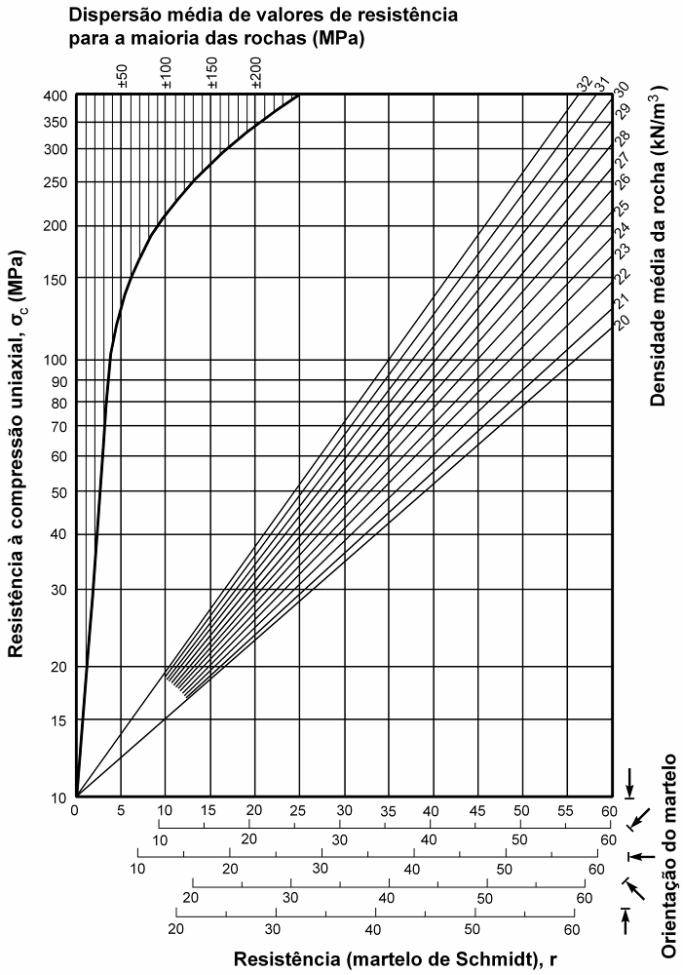


Figura 06.01 – Ábaco de Miller para o cálculo da resistência a partir do Martelo de Schmidt (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Na realização do ensaio é de extrema importância limpar a zona a ensaiar por forma a eliminar a camada superficial de rocha meteorizada (figura 06.02), verificar se não existem gretas ou fissuras e ter em atenção a orientação e colocação do equipamento (figura 06.03).

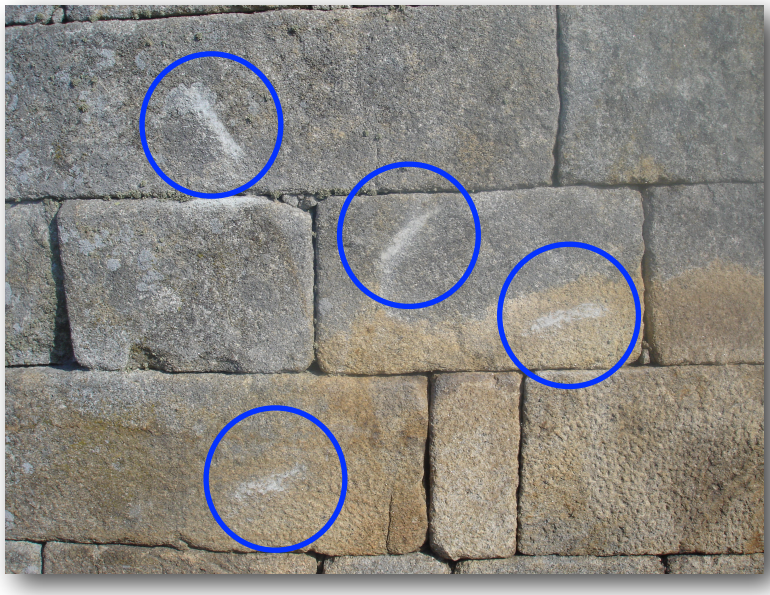


Figura 06.02 – Várias zonas limpas para execução do ensaio



Figura 06.03 – Utilização do esclerómetro durante a realização de um ensaio (utilização em várias direções)

6.1.1.2 - Resultados dos ensaios

Os ensaios foram realizados por forma a ter uma amostra significativa de valores estimados da resistência à compressão uniaxial, dos diferentes tipos de silhares existentes. Foram realizados 63 ensaios tendo em conta as caraterísticas dos silhares, as patologias existentes, a sua localização e a sua orientação.

No quadro 06.03 estão representados apenas o valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão, embora o quadro resumo com todos os valores obtidos, pode ser consultado em anexo ao presente trabalho. Os ensaios incidiram na torre de menagem, na sua muralha envolvente e no edifício denominado de Casa da Câmara, o qual se considera como de maior importância histórica dentro do recinto do castelo.

Sendo extremamente difícil proceder-se à recolha de amostras para laboratório, a localização dos ensaios teve que ter em consideração este aspeto, uma vez que, foram destas zonas que se obtiveram algumas amostras para posterior comparação com os resultados obtidos.

A escolha dos silhares para ensaiar deveu-se a vários fatores, tais como:

- À sua cota;
- Às patologias existentes;
- À sua orientação;
- À facilidade de se proceder a outro tipo de ensaio "*in situ*".

Quadro 06.03 – Valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão estimado da resistência à compressão uniaxial

	Dureza (R)	Valor estimado da resistência à compressão uniaxial (MPa)	Ensaio (N.º)
Mínimo	25,00	43,00	4
Máximo	57,80	200,00	32
Média	43,68	107,65	
Des. Padrão	6,89	33,87	

Segundo Cavaleiro (2001), com os resultados do ressalto do martelo (R), pode-se classificar as rochas com recurso a uma escala de alteração que vai entre W1 a W5, em que:

- O tipo W1 – (granito são) Feldspatos com cor branca, leitosa e brilho nacarado. As micas apresentam brilho. A biotite apresenta-se bem negra e brilhante. Necessita de uma forte pancada com a marreta para se atingir a rotura. Dureza de Schmidt superior a 40;
- O tipo W2 – (granito pouco alterado) Os feldspatos são brancos com ligeira impregnação de óxidos de ferro. Apresentam-se baços. A rotura da rocha é difícil

de se atingir com o martelo. O uso da marreta parte a rocha facilmente. Dureza de Schmidt entre 30 e 39;

- O tipo W3 – (granito alterado) Os feldspatos, pouco pulverulentos, são de cor creme, apresentando manchas castanho claro provocadas pela impregnação de óxidos e hidróxidos de ferro, provenientes da lexiviação da biotite. Atinge-se a ruptura da rocha com pancada seca de martelo. Dureza de Schmidt entre 20 e 29;
- O tipo W4- (granito muito alterado) - Consegue-se partir a rocha com o simples pressionar do martelo. Os feldspatos são pulveruntos e desagregam-se com certa facilidade. A biotite está praticamente lexiviada. A rocha conserva ainda as estruturas originais. Valores da dureza de Schmidt (R) inferiores a 19;
- O tipo W5 – (granito decomposto) - Trata-se de um saibro que se desagrega com a simples pressão dos dedos. A rocha é friável e possui comportamento de solo. Os grãos de quartzo soltam-se facilmente da rocha "podre". Os feldspatos argilificados esboroam-se. A biotite desaparece dando lugar a produtos micáceos. Não se registam valores da dureza de Schmidt (R).

No quadro seguinte (quadro 06.04), estão representados apenas os valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão do registo dos resultados do ressalto do Martelo de Schimdt e o grau de alteração dos materiais ensaiados, embora o quadro resumo com todos os valores obtidos, possa ser consultado em anexo ao presente trabalho.

Quadro 06.04 – Valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão estimado dos resultados do Martelo de Schimdt e o grau de alteração

	Dureza (R)	Grau de Alteração	Ensaio (N.º)
Mínimo	25,00	W3	32
Máximo	57,80	W1	4
Média	43,68		
Des. Padrão	6,89		

6.1.2 – Pistola de Windsor

6.1.2.1 - Descrição do ensaio

Trata-se de um ensaio não destrutivo, embora pela classificação do quadro 06.01 se possa classificar como um ensaio que cause danos ligeiros no material. Este é rápido, de baixo custo e permite estimar as caraterísticas geomecânicas de rochas ou solos.

No presente caso de estudo, o ensaio foi realizado conforme as recomendações de Ladeira (1996) e que consiste na utilização de uma pistola que pela percussão de um cartucho de pólvora faz penetrar no solo ou rocha um pino de aço.

Para se efetuar o disparo (Figura 06.04), é necessário encostar o cano e aplanar muito bem a superfície onde se pretende fazer a penetração. Assim, juntamente com uma placa de aço recurvada que está colocada na extremidade da pistola com a função de proteger o operador e outras pessoas envolvidas no ensaios, o pino perfura a rocha.



Figura 06.04 – Utilização da Pistola de Windsor

Realçar que este ensaio não se aconselha a rochas muito duras e com resistência à compressão uniaxial superiores a 80MPa, pois o pino, para além de não perfurar a rocha, poderá atingir os operadores. Também se deve evitar a perfuração em zonas próximas de cantos, arestas ou faces, uma vez que os valores obtidos podem não ser fiáveis pela possível fratura do material de ensaio, bem como, pela possibilidade do pino sair da rocha e provocar um acidente.

Para estimar a resistência à compressão uniaxial de rochas ou solos pouco anisotrópicos através da penetração obtida (figura 06.05), utiliza-se o ábaco da figura 06.06, que é válido

caso a pistola seja de calibre 38 e se a pólvora usada (com peso de 5 gramas) for semelhante à apresentada pela Companhia Brasileira de Cartuchos (CBC).



Figura 06.05 – Penetração do projétil resultante do ensaio com a Pistola de Windsor

Apenas os ensaios paralelos e perpendiculares à xistosidade se ajustam à reta, pois a xistosidade influencia bastante a penetração. Daí que, em anisotropia planar há que ter em atenção esse plano e o ábaco não é válido a não ser para as duas direções referidas. A reta em papel bilogarítmico tem a equação:

$$R_c = 1.33 \times 10^6 \, p^{-2.33}$$

Onde:

R_c - Resistência à compressão uniaxial (em kPa);

p - Profundidade de penetração (em cm).

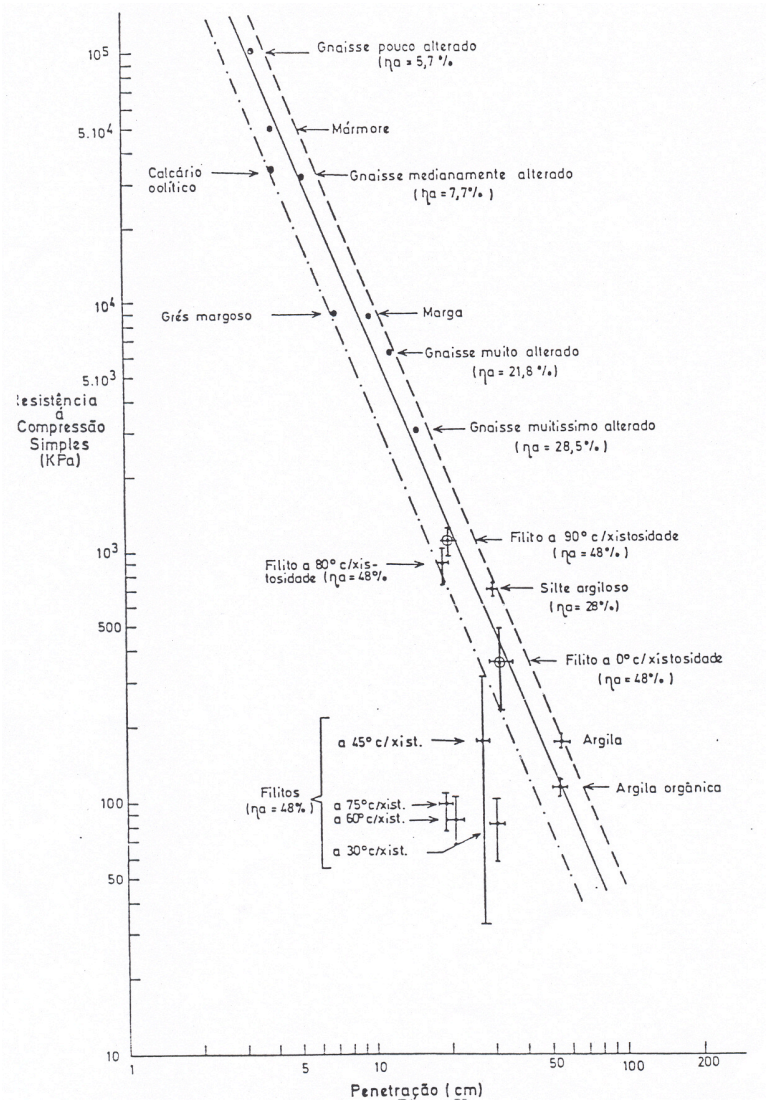


Figura 06.06 – Ábaco que permite estimar a resistência à compressão uniaxial de matérias, após obtida penetração pelo ensaio da Pistola de Windsor (Ladeira, 1996)

6.1.2.2 - Resultados dos ensaios

Causando este ensaio danos ligeiros no material, teve que se ter em atenção a localização e quantidade de ensaios realizados, uma vez que, além da pequena degradação que ocorre com a penetração do pino metálico, este pode ficar inserido no silhar, sendo perceptível a um olhar mais atento. Por este fatos, realizaram-se apenas 20 ensaios em zonas menos visíveis, mas com a preocupação que os resultados pudessem ser comparados com os restantes ensaios realizados.

Seguindo os procedimentos descritos anteriormente, com recurso à equação da reta do ábaco da figura 06.06 foram registados no quadro 06.05 apenas os valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão estimados para a resistência à compressão uniaxial, embora o quadro resumo com todos os valores obtidos, possa ser consultado em anexo ao presente trabalho.

Quadro 06.05 – Valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão dos valores estimados para resistência à compressão uniaxial

	Valores estimados de resistência à compressão uniaxial (MPa)	Penetração				Ensaio (N.º)
Mínimo	29,87	3,5	+	1,6	5,10	1
Máximo	102,84	3,5	-	0,5	3,00	8
Média	64,57					
Des. Padrão	20,83					

6.1.3 - Ensaio de Velocidade de Propagação das Ondas Ultra-Sónicas

Este ensaio baseia-se na alteração da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no interior de corpos sólidos, de acordo com as caraterísticas mecânicas, assim como do grau de fraturação dos corpos de prova.

Sendo as muralhas constituídas por dois panos de muralha, preenchida no seu interior por material solto, a realização deste ensaio no local, ficou limitado a zonas de ombreiras e vergas de vãos existentes (figura 06.07), zonas onde foi possível medir a velocidade das ondas.

Foram feitas leituras em locais onde se procedeu igualmente ao ensaio com o esclerómetro, por forma a correlacionar os valores obtidos nos dois ensaios.

Como foram recolhidas amostras, a descrição deste ensaio será esplanada no sub-capítulo relativo aos ensaios laboratoriais, embora se mostrem através do quadro 06.06 o registo e medições efetuadas no local.



Figura 06.07 – Medição da propagação dos ultra-sons em silhar inserido em vão da casa da Câmara

Quadro 06.06 – Registo dos valores de velocidade de propagação dos ultra-sons

Ensaio (N.º)	Comprimento (mm)	Leitura de Ultra-sons (u.s)	Velocidade de Ultra-sons (m/s)	Localização
1	222	98,7	2249,24	Casa da Câmara
2	415	246,5	1683,57	Casa da Câmara
3	609	410	1485,37	Arcos interiores (Casa da Câmara)
4	608	500	1216,00	Arcos interiores (Casa da Câmara)
5	415	217	1912,44	Arcos interiores (Casa da Câmara)
6	223	97,8	2280,16	Vão da muralha envolvente à torre de menagem
7	615	362	1698,90	Vão da muralha envolvente à torre de menagem

6.2 - Ensaios Laboratoriais

A informação obtida a partir dos ensaios realizados *"in situ",* pode e deve ser completada e comprovada através de ensaios em laboratório sobre amostras recolhidas no local.

Tal como referido para os ensaios *"in situ"*, os ensaios laboratoriais escolhidos para caraterizar as pedras do castelo de Marialva, estão de acordo com a metodologia proposta para este trabalho, em que devem ser expeditos, de fácil execução e interpretação, economicamente viáveis e realizados com equipamentos facilmente disponíveis no mercado, em laboratórios particulares ou em instituições de ensino, relativamente perto do local da intervenção.

Tendo por base o referido, foram propostos e realizados os seguintes ensaios em laboratório:

- Ensaio de caracterização da porosidade, absorção e densidade;
- Ensaio de propagação das ondas ultrassónicas;
- Ensaio uniaxial de compressão simples;
- Ensaio uniaxial de compressão simples com extensometria;
- Ensaio de desgaste em meio húmido (Slake Durability Test).

6.2.1 - Obtenção de amostras/provetes

No presente caso de estudo, devido às várias derrocadas e reconstruções nos últimos anos, recolheu-se para laboratório sete amostras representativas dos silhares que constituem os paramentos do castelo, retirados da zona da torre de menagem e sua muralha envolvente, bem como, de diferentes zonas das muralhas exteriores.

A escolha das amostras teve por base o conhecimento pessoal das zonas derrocadas e das diferentes intervenções realizadas nos últimos anos.

Os silhares designados por "amostras 1 e 6" (figura 06.08), são provenientes da base da muralha envolvente da torre de menagem, os quais estiveram, durante o seu uso, em contato com o solo e consequentemente com águas superficiais e subterrâneas, além dos esforços de compressão a que foram sujeitos no suporte do restante paramento. As "amostras 2 e 5" (figura 06.09) foram retiradas do mesmo pano de muralha das anteriores (muralha envolvente da torre de menagem), mas de uma zona perto do coroamento da muralha. A "amostra 3" (figura 06.10) é proveniente de um cunhal de muralha reconstruído em 2004 e não usado na intervenção. Dos paramentos exteriores foi retirada igualmente a "amostra 4" (figura 06.10), junto da Porta do Anjo da Guarda, também esta intervencionada no ano de 2004. Por último, foi transportado para laboratório um silhar sobrante da última intervenção, o qual não era original da construção do castelo, mas adquirido para preencher lacunas das várias derrocadas, a que se deu a designação de "amostra 7" (figura 06.11).



Figura 06.08 – Amostras 1 e 6 - silhares de construção do castelo



Figura 06.09 – Amostras 2 e 5 - silhares de construção do castelo



Figura 06.10 – Amostras 3 e 4 - silhares de construção do castelo



Figura 06.11 – Amostra 7 - silhar utilizado na reconstrução do castelo

Devido às reduzidas dimensões e forma irregular das amostras, a recolha de provetes para os diversos ensaios, pode tornar-se uma tarefa bastante metodológica, uma vez que, não havendo a possibilidade de nova recolha de amostras (por se tratar de um monumento), a carotagem terá que ser realizada de forma a aproveitar convenientemente o silhar, obtendo o maior número de provetes possíveis. No processo de carotagem foram utilizadas dimensões de coroas diamantadas diferentes, as mais usuais no mercado, de forma a verificar os valores dos ensaios para diferentes relações de diâmetro e comprimento. A figura 06.12, ilustra o processo de recolha de provetes através de caroteadora, onde se pode observar o cuidado em aproveitar o mais possível a amostra recolhida.



Figura 06.12 – Recolha de provetes cilíndricos através de carotagem

Após a carotagem, o material retirado foi cortado em dimensões apropriadas para a realização dos ensaios propostos. Das 7 amostras recolhidas, obtiveram-se 71 provetes conforme se pode observar na figura 06.13 e no quadro 06.07.

Quadro 06.07 – Origem, designação e dimensões dos provetes

Origem		Quantidade de Provetes	Designação	Dimensões
Marialva	Amostra 1	5	A1-i	5 x 110x54
	Amostra 2	11	A2-i	12 x 139x54
	Amostra 3	5	A3-i	4 x 139x54 + 1 x 110x49
	Amostra 4	14	A4-i	14 x 139x54
	Amostra 5	13	A5-i	13 x 100x49
	Amostra 6	5	A6-i	5 x 100x49
	Amostra 7	18	A7-i	13 x 100x49 + 5 x 125x49

Em que:

i - numeração atribuída a cada provete



Figura 06.13 – Provetes cilíndricos, depois de cortados e identificados para a realização dos diferentes ensaios

6.2.2 - Ensaio de caracterização da porosidade, absorção e densidade

A presença de poros na estrutura interna das rochas diminui a sua resistência e por conseguinte afeta o seu desempenho mecânico. As propriedades físicas da porosidade aberta, absorção de água e densidade aparente conjugadas podem fornecer informação adicional sobre o comportamento mecânico das rochas.

6.2.2.1 – Descrição do ensaio

A determinação das propriedades físicas de densidade aparente, porosidade e absorção de água foram obtidas no Laboratório de Mecânica das Rochas da Universidade da Beira Interior, seguindo a especificação do LNEC E 216-1968.

Utilizando a metodologia da especificação referida, refere-se apenas as fórmulas utilizadas para o cálculo dos vários parâmetros.

Utilizando os valores obtidos, foi determinada a absorção de água, recorrendo à seguinte fórmula:

$$A = \frac{m_2 - m_3}{m_3} \times 100$$

Em que:

A - absorção de água

m_2 - massa do provete saturado, em gramas

m_3 - massa do provete seco, em gramas

A determinação da porosidade aberta foi feita com base nas pesagens obtidas, recorrendo à seguinte fórmula:

$$P_a = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100$$

Em que:

P_a - porosidade aberta

m_1 – massa do provete imerso, em gramas

m_2 - massa do provete saturado, em gramas

m_3 - massa do provete seco, em gramas

A densidade aparente foi determinada pela seguinte fórmula:

Onde:

$$D_a = \frac{m_3}{m_2 - m_1} \times d'_4$$

D_a - densidade aparente

m_1 – massa do provete imerso, em gramas

m_2 - massa do provete saturado, em gramas

m_3 - massa do provete seco, em gramas

d^t_4 – densidade da água à temperatura ambiente, em relação à água destilada a 4ºC

6.2.2.2 – Resultados do ensaio

Tratando-se de um ensaio não destrutivo, todos os provetes retirados foram ensaiados com recurso a este método, em que os resultados obtidos foram resumidos no quadro 06.08, os quais correspondem às diferentes amostras provenientes do castelo. Os quadros completos podem ser consultados em anexo a este trabalho.

Quadro 06.08 – Resumo dos valores da porosidade aberta, absorção de água e densidade aparente das diferentes amostras recolhidas

		Absorção de água (%)	Porosidade Aberta (%)	Densidade aparente seca (kN/m3)
Amostra 1 (6 provetes)	Mínimo	3,0965	7,5335	24,1900
	Máximo	3,2248	7,9009	24,4763
	Média	3,1704	7,7088	24,2901
	Des. Padrão	0,0464	0,1303	0,1120
	% de Desvio	0,0146	0,0169	0,0046
Amostra 2 (11 provetes)	Mínimo	1,5296	3,9124	25,2265
	Máximo	1,6748	4,2711	25,5519
	Média	1,6092	4,1017	25,4658
	Des. Padrão	0,0456	0,1071	0,1015
	% de Desvio	0,0284	0,0261	0,0040
Amostra 3 (5 provetes)	Mínimo	1,6767	4,2403	25,1208
	Máximo	1,9548	4,9155	25,5110
	Média	1,8183	4,6086	25,3239
	Des. Padrão	0,1210	0,2936	0,1438
	% de Desvio	0,0666	0,0637	0,0057
Amostra 4 (15 provetes)	Mínimo	1,0566	2,7044	25,4450
	Máximo	1,6872	4,2974	25,8436
	Média	1,1834	3,0385	25,6544
	Des. Padrão	0,1615	0,4086	0,0964
	% de Desvio	0,1365	0,1345	0,0038
Amostra 5 (13 provetes)	Mínimo	1,8970	4,7619	24,7121
	Máximo	2,1847	5,4097	25,0752
	Média	1,9850	4,9654	24,9672
	Des. Padrão	0,0785	0,1803	0,1027
	% de Desvio	0,0395	0,0363	0,0041
Amostra 6 (5 provetes)	Mínimo	2,0697	5,1799	24,8409
	Máximo	2,2971	5,7190	24,9772
	Média	2,1736	5,4252	24,9124
	Des. Padrão	0,1089	0,2578	0,0639
	% de Desvio	0,0501	0,0475	0,0026
Amostra 7 (18 provetes)	Mínimo	0,4773	1,2520	25,4665
	Máximo	0,9504	2,4442	26,1805
	Média	0,7298	1,8899	25,8724
	Des. Padrão	0,1402	0,3533	0,1810
	% de Desvio	0,1921	0,1869	0,0070

6.2.3 - Ensaio de Velocidade de Propagação das Ondas Ultra-Sónicas

Para obter as constantes mecânicas dinâmicas dos materiais geológicos ensaiados, procedeu-se a testes não destrutivos de medição dos tempos das ondas ultrassónicas utilizando o aparelho PUNDIT.

6.2.3.1 – Descrição do ensaio

Este ensaio baseia-se na alteração da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no interior de corpos sólidos, de acordo com as características mecânicas, assim como do grau de fraturação dos corpos de prova.

Os procedimentos de ensaio são descritos quer no manual do equipamento, quer pela recomendação BS1881, B.S.I. (1986), para condições de humidade 0% e 100%, utilizando transdutores com frequência de 56Khz.

6.2.3.2 – Resultados do ensaio

Tal como no ensaio anterior, trata-se de um ensaio não destrutivo, pelo que todos os provetes retirados foram ensaiados com recurso a este método e em que os resultados obtidos foram resumidos no quadro 06.09 que correspondem às diferentes amostras provenientes do Castelo. Os quadros completos podem ser consultados em anexo a este trabalho.

Quadro 06.09 – Resumo dos valores de velocidade de propagação dos ultra-sons nas diferentes **amostras** recolhidas

		Leitura de Ultra-Sons seco (µ.s)	Velocidade Ultra-Sons seco (m/s)			Leitura de Ultra-Sons seco (µ.s)	Velocidade Ultra-Sons seco (m/s)
Amostra 1 (6 provetes)	Mínimo	84,9000	1034,8071	Amostra 5 (13 provetes)	Mínimo	43,7000	1607,7170
	Máximo	106,3000	1295,6419		Máximo	62,2000	2288,3295
	Média	97,1800	1139,0790		Média	50,3077	2003,1678
	Des. Padrão	8,4292	103,3714		Des. Padrão	4,7544	177,9876
Amostra 2 (11 provetes)	Mínimo	86,5000	1428,5714	Amostra 6 (5 provetes)	Mínimo	54,6000	1742,1603
	Máximo	97,3000	1606,9364		Máximo	57,4000	1831,5018
	Média	91,2182	1526,1081		Média	55,9000	1789,5309
	Des. Padrão	3,7231	61,7261		Des. Padrão	1,1662	37,2797
Amostra 3 (3 provetes)	Mínimo	106,4000	1112,0000	Amostra 7 (13 provetes 100x49mm)	Mínimo	26,1000	3115,2648
	Máximo	125,0000	1306,3910		Máximo	32,1000	3831,4176
	Média	117,6333	1187,4746		Média	29,5462	3396,0338
	Des. Padrão	9,8845	104,2226		Des. Padrão	1,7572	209,8937
Amostra 4 (15 provetes)	Mínimo	57,2000	2026,2391	Amostra 7 (5 provetes 125x49mm)	Mínimo	37,1000	2593,3610
	Máximo	68,6000	2430,0699		Máximo	48,2000	3369,2722
	Média	62,6600	2225,2900		Média	40,6800	3102,7238
	Des. Padrão	3,6414	128,6646		Des. Padrão	4,6644	327,4115

6.2.4 – Ensaio uniaxial de compressão uniaxial

Os ensaios de compressão uniaxial são de uso corrente para a determinação das características de resistência máxima à rotura por compressão dos materiais naturais e artificiais, tais como rochas e betão.

6.2.4.1 – Descrição do ensaio

Este ensaio permite determinar em laboratório a resistência à compressão uniaxial da rocha, σ_c, e as constantes elásticas: o módulo de Young, módulo de elasticidade, **E** e o coeficiente de Poisson, **v**. É um ensaio para classificação da rocha através da resistência e deformabilidade.

Neste trabalho, o ensaio realizou-se sobre os cilindros de rochas (provetes) retirados das amostras recolhidas no Castelo de Marialva, aos quais se aplicaram gradualmente uma força

axial até atingir a rotura, seguindo as recomendações da ISRM - International Society for Rock Mechanics (ISRM, 1978).

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica das Rochas da Universidade da Beira Interior, utilizando equipamento específico.

A ISRM estabelece uma série de recomendações em relação às dimensões dos provetes:

- Os provetes devem ser cilíndricos com uma relação L/D = 2,5 a 3 e D >54 mm. O diâmetro D será pelo menos 10 vezes maior que o maior tamanho do grão da rocha;
- As bases do provete devem ser planas e perpendiculares às faces do cilindro;
- Devem ser realizados no mínimo 5 ensaios para uma correta caracterização da matriz rochosa.

Foram utilizadas diferentes dimensões de provetes (100mmx49mm, 125mmx49mm e 139mmx54mm), de forma a poder-se analisar o efeito de escala nos resultados obtidos da compressão uniaxial. Algumas dimensões dos provetes (100mmx49mm e 125mmx49mm) não estão a respeitar a relação L/D recomendada, nem o diâmetro mínimo, tendo sido reduzida a escala proporcionalmente. Esta situação deveu-se ao fato de se querer utilizar equipamentos de carotagem com diâmetros mais usuais no mercado e cuja a sua aquisição não seja muito dispendiosa.

Para minimizar a influência de aplicação da carga, a ISRM recomenda tempos de carga de 0,5 a 1,0 MPa/s, que corresponde aproximadamente a um tempo de 5 a 10 minutos para alcançar a resistência de pico (para materiais resistentes em geral). Nos ensaios realizados foi ajustado o equipamento para uma velocidade de 0,5 MPa/s, valor mais baixo recomendado, uma vez que uma aplicação rápida pode provocar roturas violentas e uma sobrelevação da resistência do material. Os tipos de rotura registados durante a realização do ensaio estão ilustrados na figura 06.14.



Figura 06.14 – Tipos de roturas após o ensaio de resistência à compressão uniaxial

6.2.4.2 – Resultados do ensaio

Seguindo a metodologia recomendada pela ISRM, os resultados obtidos foram resumidos no quadro 06.10, que correspondem às diferentes amostras provenientes do castelo. Os quadros completos podem ser consultados em anexo a este trabalho.

Quadro 06.10 – Resumo dos valores da resistência à compressão uniaxial **(σc)**, após ensaio nos provetes das diferentes amostras do castelo

		Resistência à compressão (σc) MPa			Resistência à compressão (σc) MPa
Amostra 1 (5 provetes)	Mínimo	18,8628	Amostra 5 (13 provetes)	Mínimo	36,0500
	Máximo	22,4869		Máximo	52,5000
	Média	20,4696		Média	45,2785
	Des. Padrão	1,6248		Des. Padrão	4,5672
Amostra 2 (11 provetes)	Mínimo	33,2292	Amostra 6 (5 provetes)	Mínimo	34,8900
	Máximo	43,5766		Máximo	38,9900
	Média	39,8613		Média	36,2300
	Des. Padrão	2,9508		Des. Padrão	1,6396
Amostra 3 (4 provetes)	Mínimo	31,7000	Amostra 7 (13 provetes 100x49mm)	Mínimo	66,0000
	Máximo	42,6888		Máximo	94,0100
	Média	37,1762		Média	78,8508
	Des. Padrão	5,1164		Des. Padrão	10,4214
Amostra 4 (14 provetes)	Mínimo	49,7769	Amostra 7 (5 provetes 125x49mm)	Mínimo	60,4700
	Máximo	72,8314		Máximo	98,6200
	Média	59,5597		Média	84,2080
	Des. Padrão	7,5149		Des. Padrão	15,1145

6.2.5 - Ensaio uniaxial de compressão simples com extensometria

Nos ensaios de resistência à compressão uniaxial com extensometria, a medição das extensões foi realizada, utilizando extensómetros elétricos do tipo "TML STRAIN GAUGE TEST DATA", produzidos pela empresa "Tokyo Sokki Kenyujo co., LtD." (Japan), recorrendo ao equipamento "TML – Computing datalogger TDS-602", para efetuar o registo automáticos das extensões.

No procedimento deste ensaio, foram seguidas as recomendações sugeridas pela Sociedade Internacional para a Mecânica das Rochas (ISRM, 1978).

6.2.5.1 – Descrição do ensaio

Para este ensaio foram usados 6 provetes em que, 3 pertencem à amostra 2 e os outros 3 à amostra 4. Não foram utilizados mais provetes com extensómetros, uma vez que se pretendia apenas ter uma noção deste comportamento nas rochas do castelo e por sua vez, a aquisição deste tipo de equipamento é algo honorosa.

A preparação do ensaio iniciou-se com a marcação dos provetes de forma a se proceder à colagem dos extensómetros. Depois da colagem, foram soldados os cabos condutores de sinal dos extensómetros. Após a estanhagem dos fios condutores e do corte da extremidade estanhada ao mínimo, para a sua correta fixação aos extensómetros, seguiu-se então a estanhagem dos seus pontos de soldadura (figura 06.15).



Figura 06.15 – Preparação e soldadura dos cabos condutores

A velocidade de carregamento utilizada para levar à rotura os corpos de prova foi a mesma utilizada para o ensaio de resistência à compressão uniaxial (0,5 MPa/s).

Na figura 06.16 pode-se observar um dos provetes instrumentados com extensómetros, a ser submetido ao ensaio de resistência à compressão uniaxial e o aspeto após atingir o seu limite de resistência.



Figura 06.16 – Execução do ensaio de resistência à compressão uniaxial e aspeto da rotura

6.2.5.2 – Resultados do ensaio

Após a conclusão dos ensaios, foram elaborados os gráficos de tensão-extensão (06.01 a 06.04) para as várias amostras, onde se podem observar os resultados nas diferentes direções.

Referir que, em algumas amostras e em algumas direções, os cabos condutores dos extensómetros, deixaram de dar sinal, no início do ensaio, pelo que não se obteve valores para incluir nos gráficos, apresentado estes em alguns provetes, menos direções analisadas.

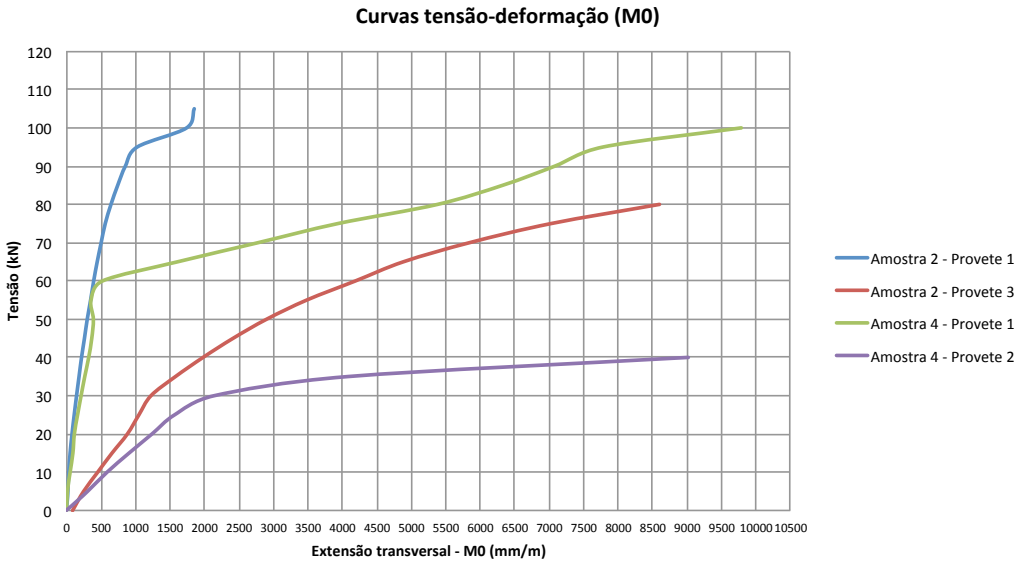


Gráfico 06.01 – Curvas tensão-deformação transversal (M0), dos diferentes provetes

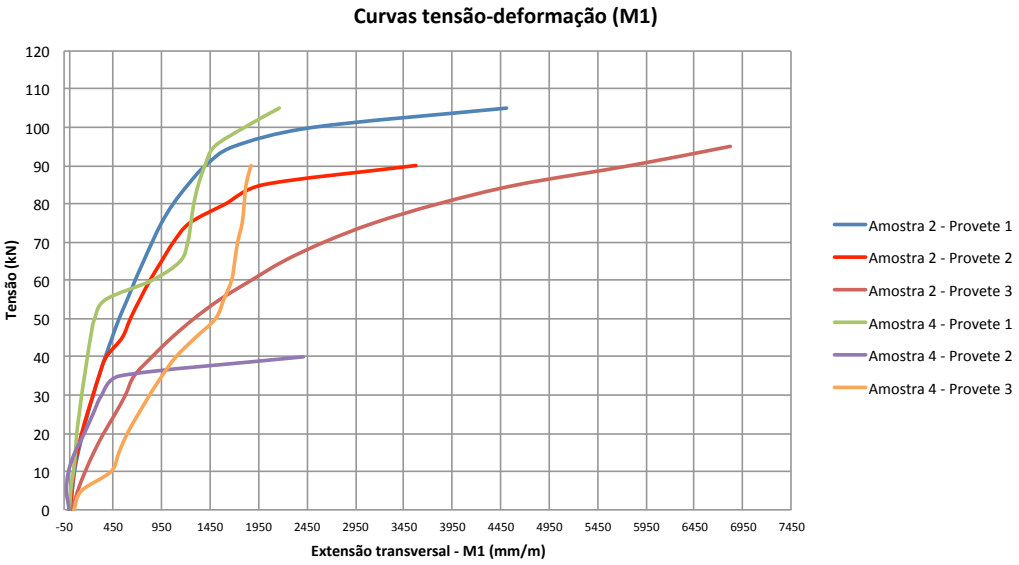


Gráfico 06.02 – Curvas tensão-deformação transversal (M1), dos diferentes provetes

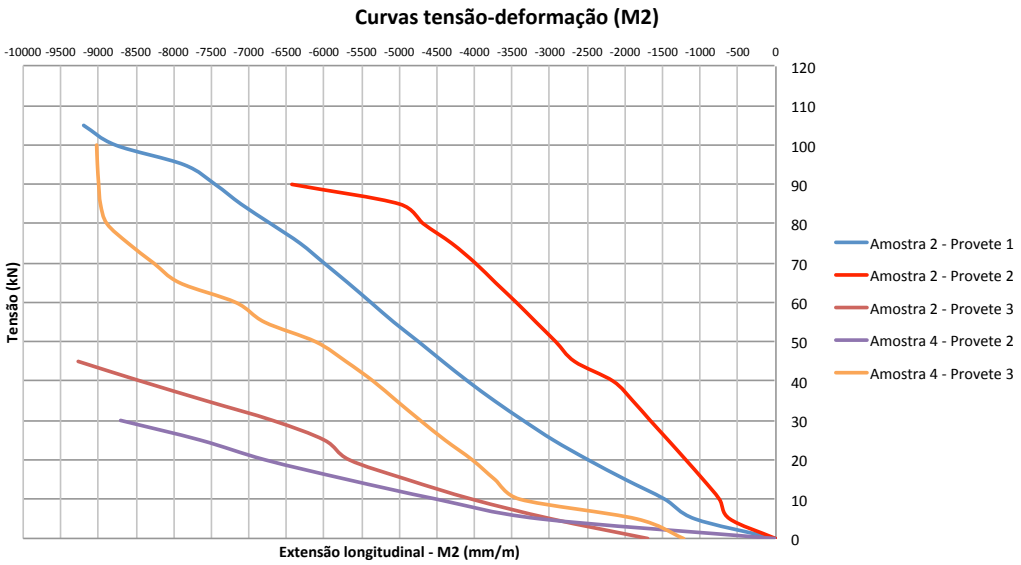


Gráfico 06.03 – Curvas tensão-deformação longitudinal (M2), dos diferentes provetes

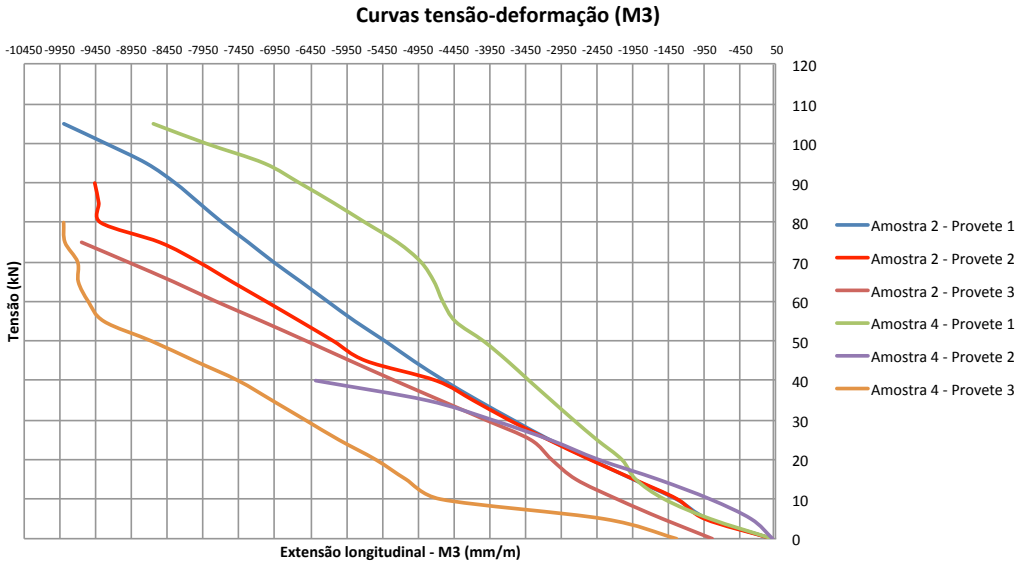


Gráfico 06.04 – Curvas tensão-deformação longitudinal (M3), dos diferentes provetes

6.2.6 - Ensaio de desgaste em meio húmido (Slake Durability Test)

O ensaio de Desgaste em Meio Húmido destina-se a avaliar a resistência apresentada por uma amostra de rocha, ao seu enfraquecimento e desintegração, quando submetida a vários ciclos-padrão de desgaste em meio húmido. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Mecânica das Rochas da Universidade da Beira Interior, com recurso a equipamento apropriado e seguindo a Nota técnica "LNEC 4/94 – GEA/DG".

6.2.6.1 – Descrição do ensaio

Das amostras 2, 4, 6 e 7 foram retirados dez fragmentos de rocha (figuras 06.17 e 06.18), cada um com uma massa de 40-60 g, dando um total de 400-600 g.



Figura 06.17 – Fragmentos de rocha para o ensaio (SLAKE) das amostras 2 e 4

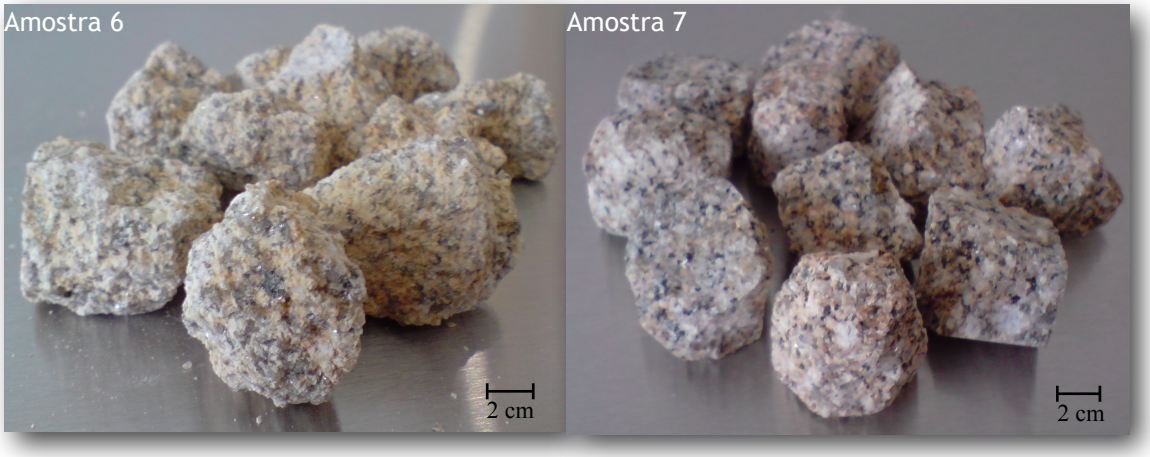


Figura 06.18 – Fragmentos de rocha para o ensaio (SLAKE) das amostras 6 e 7

As amostras foram secas até atingirem a sua massa constante, à temperatura de aproximadamente 105ºC. Depois de arrefecidas foram colocadas, cada grupo de dez fragmentos, em tambores limpos. A massa **A** de cada tambor com as amostras foi registada, dando-se início ao ensaio.

As tinas (uma para cada tambor) foram cheias com água da torneira a aproximadamente 20 ºC, com um nível de 20 mm abaixo do eixo do cilindro, e os tambores sofreram 200 rotações durante um período de 10 minutos, o que corresponde a um ciclo-padrão, tal como recomendado.

Os tambores foram removidos das tinas, e o conjunto tambor-amostra foram secos a 105 ºC até à sua massa constante. Após arrefecimento, o conjunto foi pesado e registada a sua massa **B**.

Repetiram-se os procedimentos, correspondentes a um segundo ciclo e a massa **C**, dos tambores com as amostras, foram registados.

De seguida retiraram-se as amostras (figuras 06.19 e 06.20), os tambores foram escovados, sendo as suas massas **E** registadas.

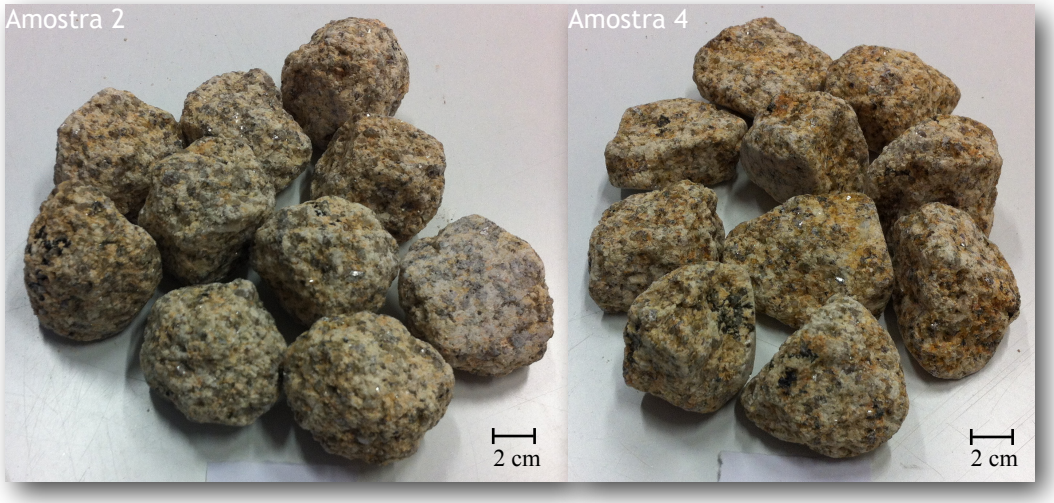


Figura 06.19 – Aspeto dos fragmentos das amostras 2 e 4 após o segundo-ciclo padrão



Figura 06.20 – Aspeto dos fragmentos das amostras 6 e 7 após o segundo-ciclo padrão

O desgaste em meio húmido, primeiro e segundo ciclos, foi calculado como a percentagem da massa final para a inicial das amostras, como se exemplifica:

Índice de desgaste em meio húmido (1.º ciclo), $$I_{d1} = \frac{B - E}{A - E} x100\%$$

Índice de desgaste em meio húmido (2.º ciclo), $$I_{d2} = \frac{C - E}{A - E} x100\%$$

Gamble (1971), propôs um critério de durabilidade para as rochas brandas a partir do segundo ciclo de desgaste em meio húmido, I_{d2} (%), o qual se apresenta no quadro 06.11 (para o material retido no tambor).

Quadro 06.11 – Critério de durabilidade para rochas brandas a partir do segundo ciclo de desgaste em meio húmido, I_{d2} (%) (Gamble, 1971)

I_{d2} material retido (%)	**Durabilidade**
>98	Muito alta
98-95	Alta
95-85	Média alta
85-60	Média baixa
60-30	Baixa
<30	Muito baixa

Franklin & Chandra (1972), consideram que para as rochas muito brandas se poderia utilizar uma classificação baseada apenas num ciclo único de desgaste em meio húmido, I_{d1} (%), conforme se indica no quadro 06.12.

Quadro 06.12 – Classificação baseada num único ciclo de desgaste em meio húmido I_{d1} (%) (Franklin & Chandra, 1972)

I_{d1} material retido (%)	**Durabilidade**
>95	Muito alta
95-90	Alta
90-75	Média alta
75-50	Média baixa
50-25	Baixa
<25	Muito baixa

Uma outra classificação para a caracterização da alterabilidade das rochas foi proposta por Aufmuth (1974), com base em apenas um ciclo de desgaste em meio húmido, I_{d1} (%) conforme se indica no quadro 06.13.

Quadro 06.13 – Classificação para a caracterização da alterabilidade das rochas com base em apenas um único ciclo de desgaste em meio húmido I_{d1} (Aufmuth, 1974)

Categoria	Alterabilidade	I_{d1} material perdido (%)
A	Baixa	<1
B	Média	1-3,5
C	Alta	>3,5

6.2.6.2 – Resultados do ensaio

Este ensaio foi realizado para as amostras 2, 4, 6 e 7, que correspondiam, pelo que foi analisado nos outros ensaios já realizados, às amostras de maior e menor resistência.

Depois de realizado o ensaio, elaborou-se um quadro resumo (quadro 06.14), que se apresenta de seguida.

Quadro 06.14 – Resultado de I_{d1} (%) e I_{d2} (%)

Amostra	Massa dos fragmentos (gramas)	Massa do conjunto tambor-amostra (A) (gramas)	Massa do conjunto tambor-amostra (B) (gramas)	Massa do conjunto tambor-amostra (C) (gramas)	Massa do tambor (E) (gramas)	**Id1 (%)**	**Id2 (%)**
2	555,7	2353,5	2328,3	2314,1	1797,8	**95,5**	**92,9**
4	518,6	2310,8	2300,0	2294,5	1791,3	**97,9**	**96,9**
6	504,1	2302,8	2289,4	2282,8	1799,7	**97,3**	**96,0**
7	525,4	2318,9	2311,4	2308,0	1793,5	**98,6**	**97,9**

Com os resultados obtidos, podem verificar-se pelos quadros 06.15 e 06.16, as classificações de durabilidade e alterabilidade sugeridas pelos diferentes autores.

Quadro 06.15 – Classificação tendo em conta a durabilidade do material

Autor	Durabilidade			
	Amostra 2	Amostra 4	Amostra 6	Amostra 7
Gamble (1971)	Média alta	Alta	Alta	Alta
Franklin & Chandra (1972)	Muito alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta

Quadro 06.16 – Classificação tendo em conta a alterabilidade do material

Autor	Alterabilidade			
	Amostra 2	Amostra 4	Amostra 6	Amostra 7
Aufmuth (1974)	Alta	Média	Média	Média

7 – Análise de resultados

Após a realização dos ensaios propostos, torna-se necessário interpretar os dados daí resultantes, por forma a comprovar da existência de relações e/ou correlações entre os resultados obtidos.

Do ponto de vista económico e de rapidez de execução, seria desejável a execução de ensaios *"in situ"*, por outro lado, embora mais dispendiosos, por ter que se proceder ao transporte de amostras a laboratório, o que nem sempre é possível, visto estar-se perante uma construção classificada como Monumento Nacional, os ensaios laboratoriais poderão dar outro tipo de dados relevantes para a caracterização do material em estudo, uma vez que, são executados através de provetes de dimensões conhecidas, o que não é possível num trabalho de campo.

Tendo como base os resultados dos ensaios já apresentados nos quadros do capítulo anterior (capítulo 6), apresenta-se de seguida as correlações e relações consideradas relevantes, bem como, a análise de resultados.

7.1 - Ensaios de caracterização

Antes de se proceder à correlação entre os ensaios, importa saber se existe uma relação entre os vários provetes das diversas amostras, para o mesmo tipo de ensaio.

Neste caso, foram correlacionados os dados obtidos na caracterização da porosidade aberta, da absorção de água e da densidade aparente. Como se pode verificar nas imagens dos gráficos seguintes, devido ao estado de degradação e do tipo de rocha, observa-se uma amplitude de valores bastante elevada no conjunto das amostras, embora com uma grande coerência para cada uma delas e com uma correlação bastante satisfatória no seu conjunto.

No gráfico 07.01, em que se analisa a correlação existente entre a absorção de água (%) e a porosidade aberta (%), obteve-se um coeficiente de determinação de 0,9986.

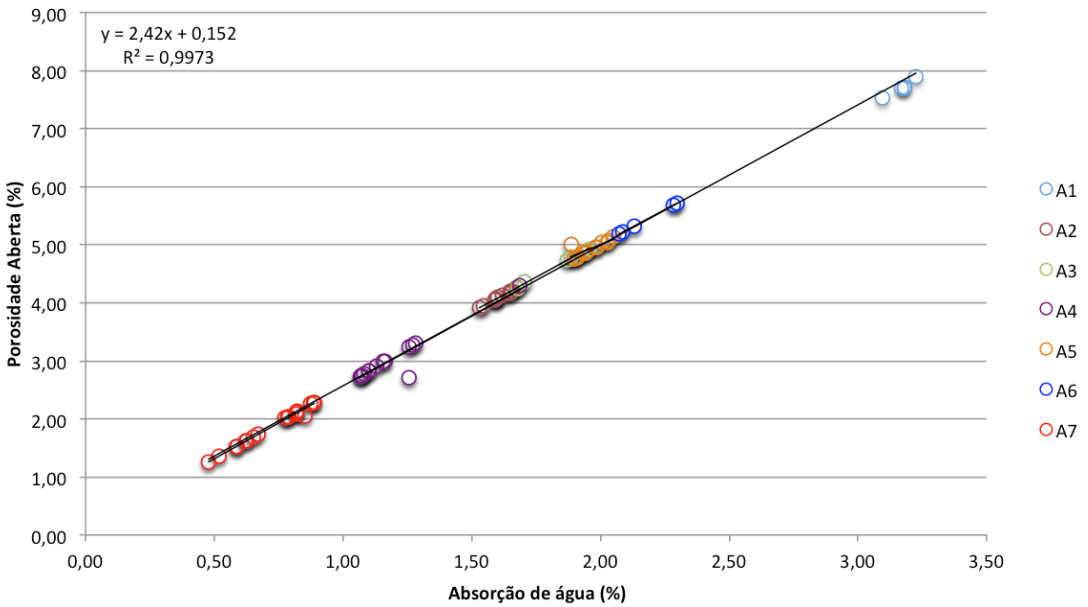


Gráfico 07.01 – Correlação entre a absorção de água (%) e a porosidade aberta (%)

No que diz respeito aos gráficos que correlacionam a absorção de água com a densidade aparente seca (gráfico 07.02) e a porosidade aberta com a densidade aparente seca (gráfico 07.03), observam-se valores do coeficiente de determinação de -0,9621 e -0,9581, correspondentemente. Sobrepondo estes dois gráficos, verificam-se apenas algumas pequenas variações em relação aos provetes analisados.

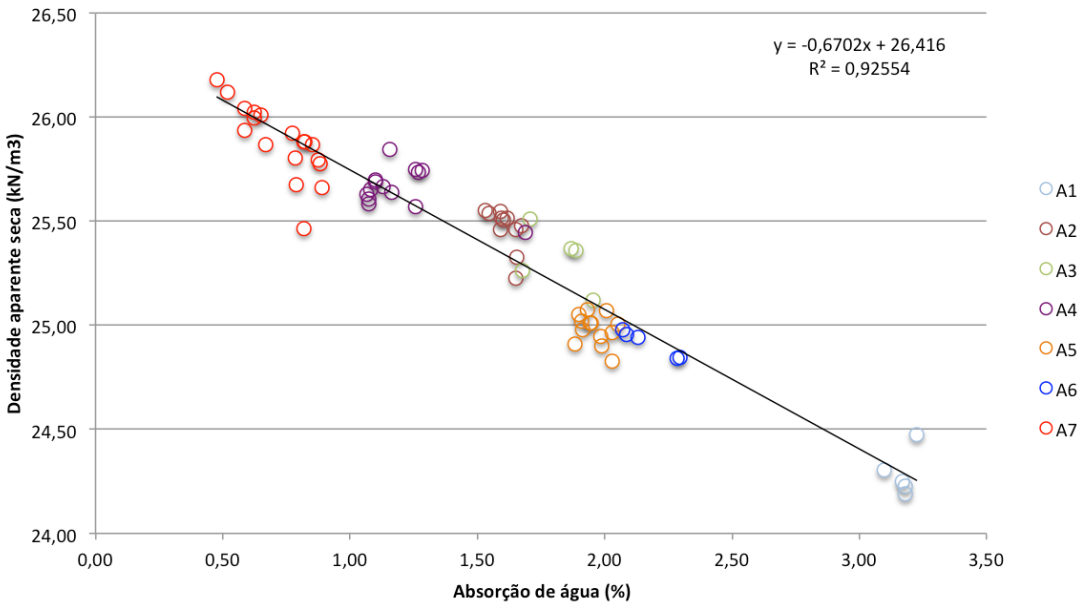


Gráfico 07.02 – Correlação entre a absorção de água (%) e a densidade aparente seca (kN/m^3)

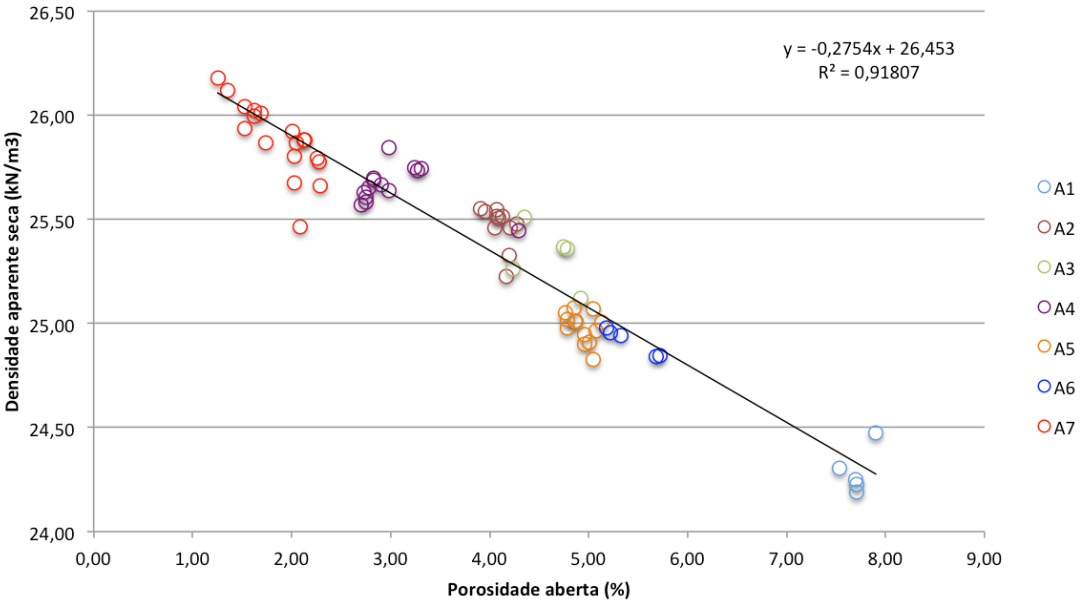


Gráfico 07.03 – Correlação entre a porosidade aberta (%) e a densidade aparente seca (kN/m^3)

7.2 - Ensaio de resistência à compressão uniaxial e Ensaio de propagação da velocidade das ondas ultra-sónicas

Tratam-se de dois ensaios realizados em laboratório, utilizando os provetes provenientes das amostras recolhidas *"in situ"*. Numa primeira fase foi realizado o ensaio de propagação da velocidade de ondas ultra-sónicas, por ser não destrutivo e, só posteriormente, foi efetuado o ensaio uniaxial de compressão simples, uma vez que se trata de um ensaio destrutivo.

Antes de se proceder à correlação dos dados obtidos nos dois ensaios, importa verificar se existe uma concordância nos resultados obtidos para cada amostra recolhida, uma vez que, no gráfico das correlações, não se consegue analisar de que provete e amostra, é o valor apresentado. Da análise dos gráficos 07.04 e 07.05, verifica-se não existir valores, em ambos os ensaios, fora da "mancha" esperada para a respetiva amostra, com exceção da amostra 7, onde os valores se encontram algo dispersos, com um intervalo de 60,47 a 96,62 MPa para o ensaio de compressão, e de 2593 a 3631 m/s para o ensaio de ultrasons.

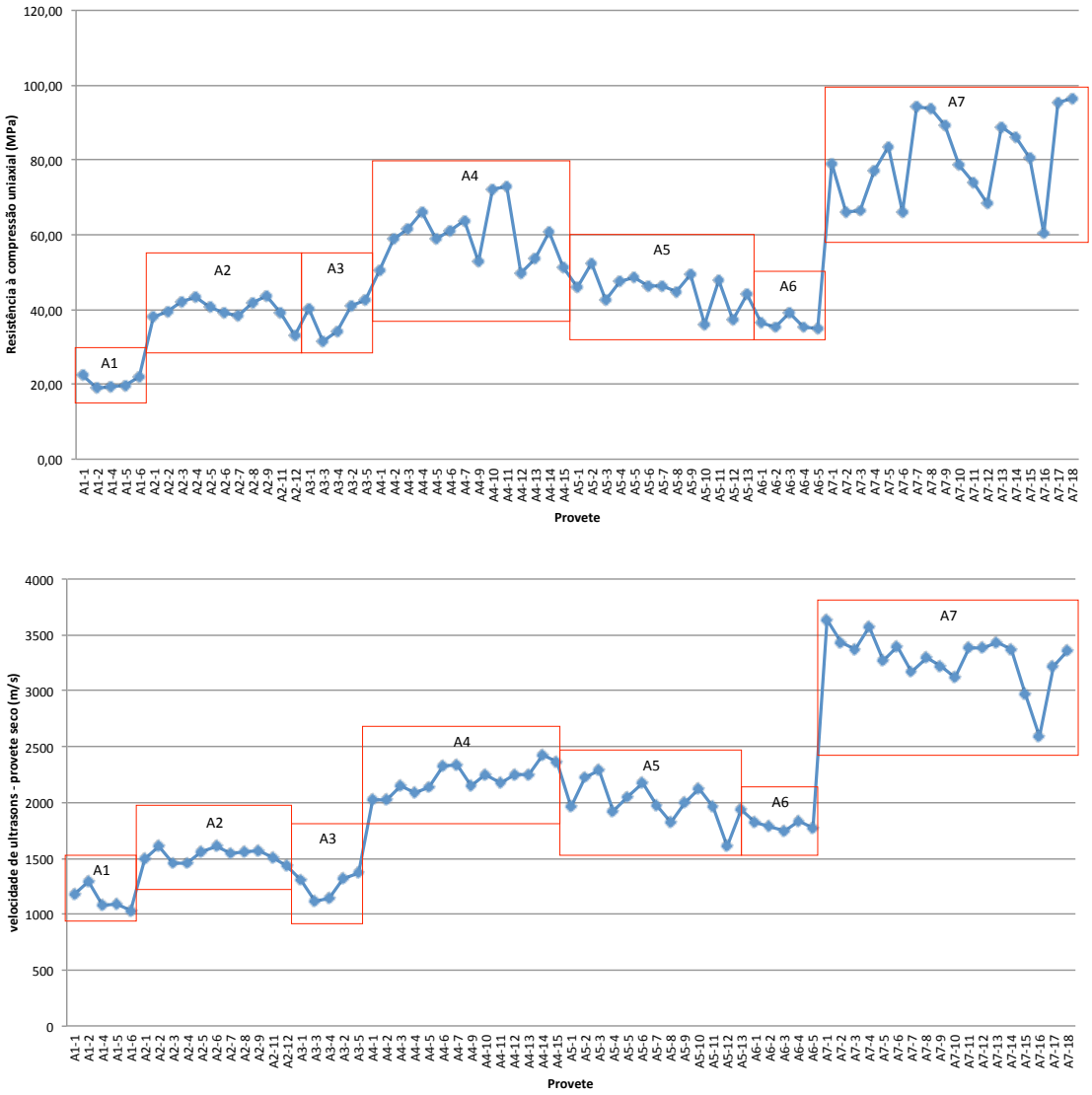


Gráfico 07.05 – Resultados do ensaio de propagação da velocidade de ultra-sons (m/s) para cada provete

Com os dados obtidos, foi executado o gráfico da 07.06, que diz respeito à correlação existente entre os valores dos dois ensaios, e pelo que é dado a observar, existe uma boa correlação entre os dados, em que neste caso com um coeficiente de determinação de 0,8994.

Verifica-se que na zona mais à esquerda do gráfico, se encontram os valores das amostras 1 e 2 e, na zona mais à direita os valores da amostra 7, o que seria de esperar, uma vez que as primeiras se encontram bastante mais alteradas, por serem amostras de rochas da origem da construção do castelo, influenciando assim a sua resistência, bem como a velocidade dos ultra-sons.

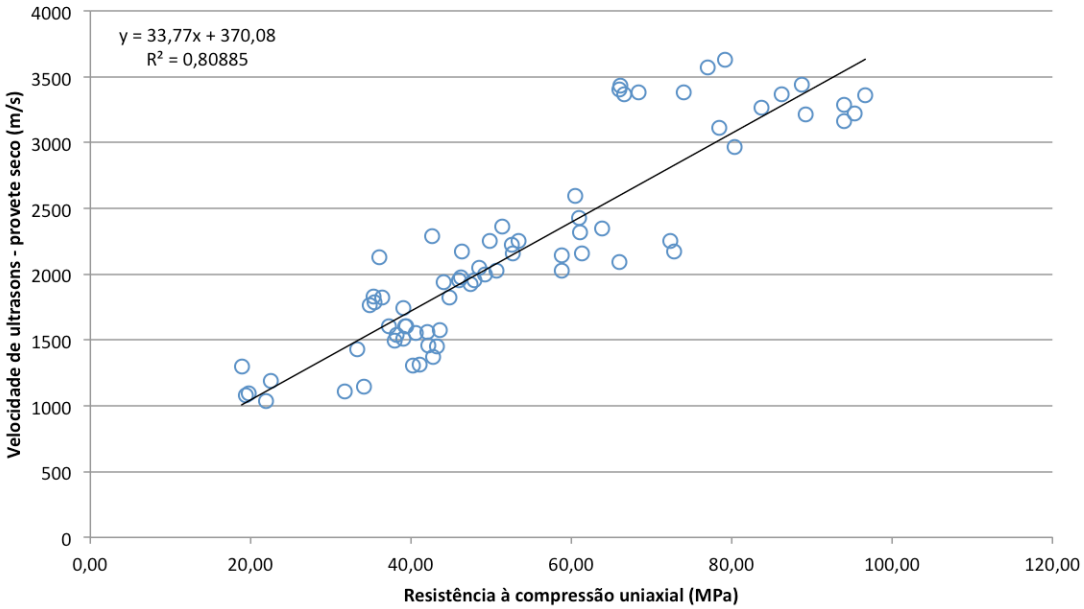


Gráfico 07.06 – Correlação entre os resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial (MPa) e o ensaio da velocidade de propagação de ultra-sons (m/s)

Por forma a analisar a dispersão dos resultados, tendo em consideração as diferentes amostras, foi realizado o gráfico 07.07, onde foram atribuídas cores às diferentes amostras dos provetes ensaiados, conseguindo-se assim, ter uma perceção mais exata da correlação obtida. Metodologia esta, que irá ser seguida nos restantes gráficos de correlações.

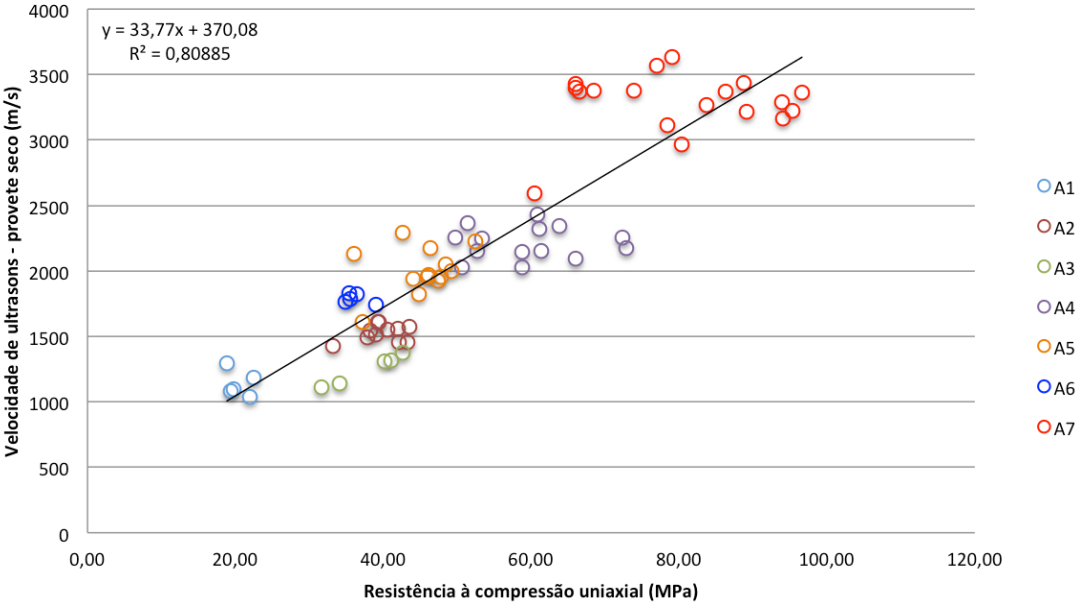


Gráfico 07.07 – Correlação entre os resultados obtidos do ensaio de resistência à compressão uniaxial (MPa) e o ensaio de propagação da velocidade de ultra-sons (m/s)

7.3 - Ensaio de resistência à compressão uniaxial e Ensaios de caracterização da porosidade aberta, absorção de água e densidade aparente

Tal como o caso do ensaio de propagação da velocidade de ondas ultrassónicas, os ensaios de caracterização da porosidade aberta, absorção de água e densidade aparente, embora realizados em laboratório, são ensaios não destrutivos, pelo que se pôde obter resultados sobre os mesmos provetes extraídos das amostras.

Com o intuito de analisar os dados obtidos, foram elaborados os gráficos 07.08, 07.09 e 07.10, que correlacionam os resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial, com a porosidade aberta, absorção de água e densidade aparente.

Pode observar-se, nos gráficos 07.08 e 07.09, que para a amostra 1 (zona mais à esquerda) os resultados, embora com valores muito semelhantes, se afastam da reta, obtendo-se valores de absorção e de porosidade bastante elevados, em comparação com os das restantes amostras. Tal como já se verificava na análise do gráfico 07.06, para a amostra 7, os valores registados apresentam alguma dispersão. No entanto, obteve-se um coeficiente de determinação de -0,8676 para a absorção de água e de -0,8725 para a porosidade aberta.

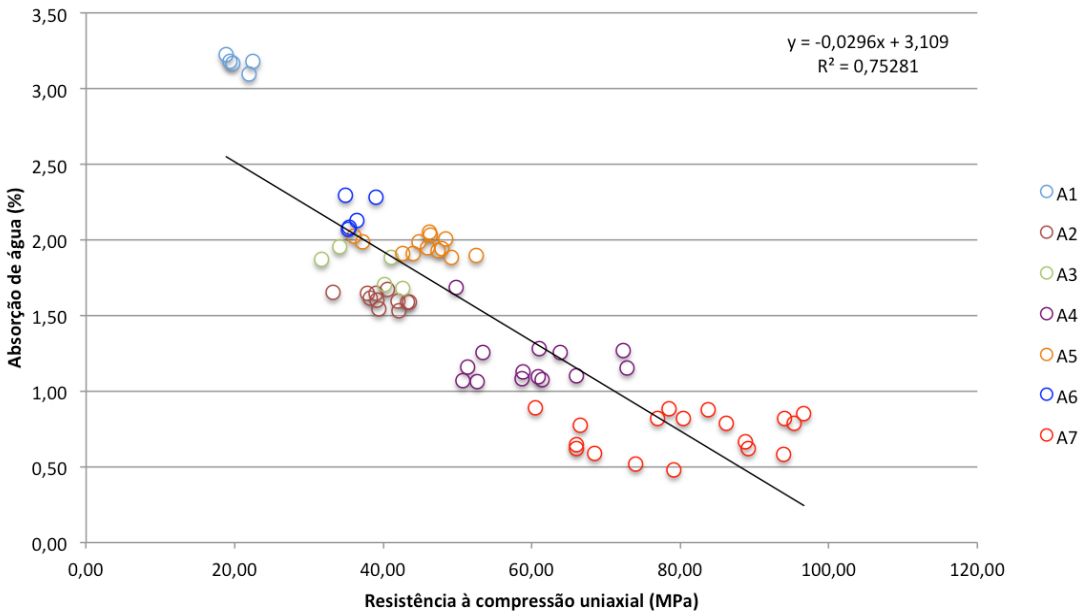


Gráfico 07.08 – Correlação entre os resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial (MPa) e absorção de água (%)

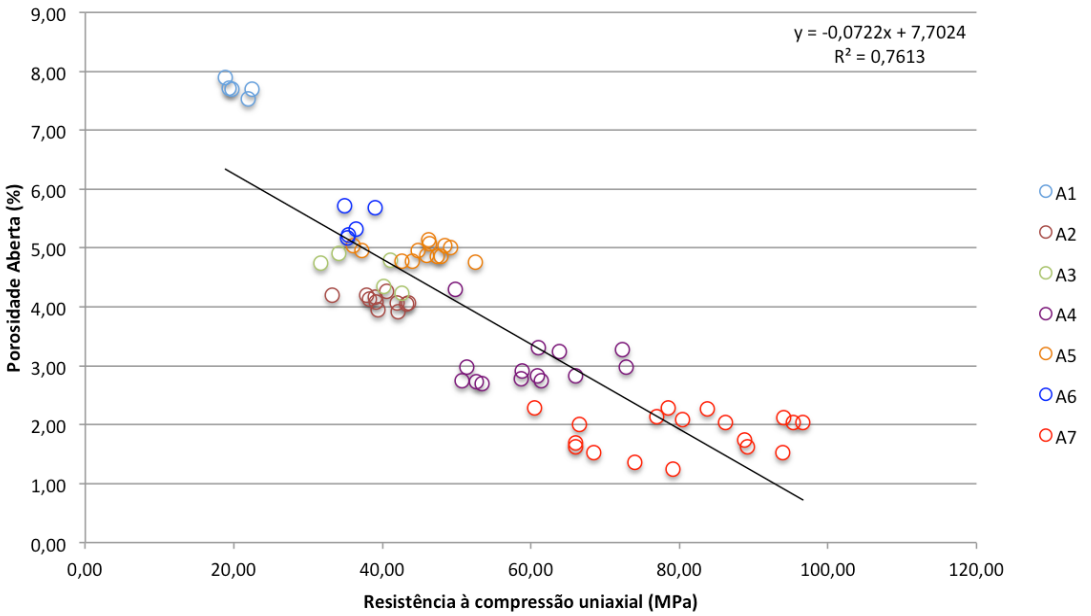


Gráfico 07.09 – Correlação entre os resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial (MPa) e porosidade aberta (%)

No que diz respeito à densidade aparente do material, verifica-se no gráfico 07.10, tal como nos gráficos anteriores, uma maior dispersão de valores para a amostra 7, mas neste caso mais acentuada, conseguindo-se ainda um coeficiente de determinação de 0,8004.

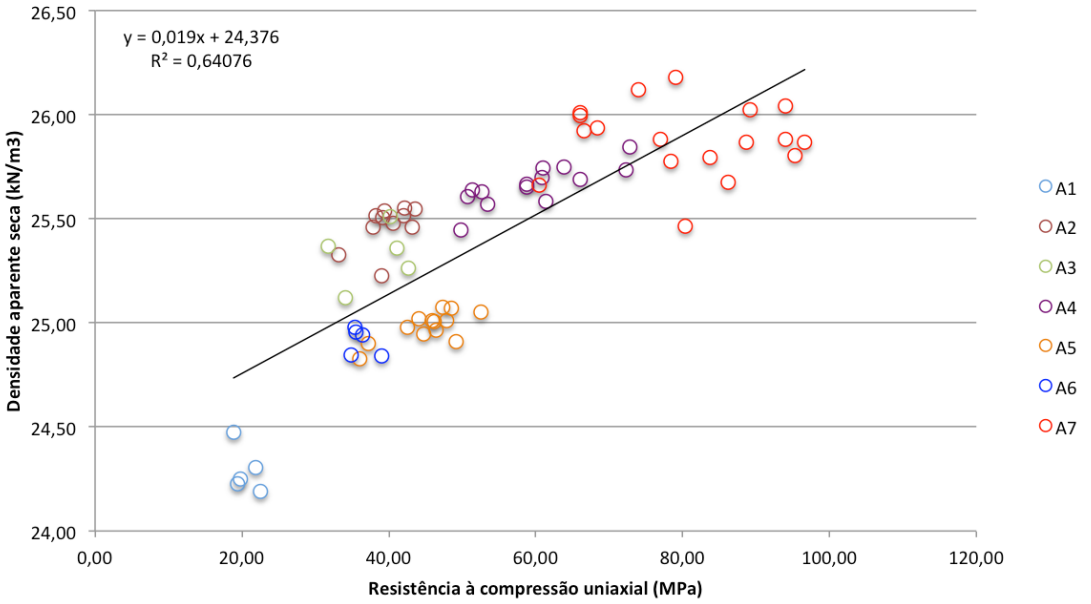


Gráfico 07.10 – Correlação entre os resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial (MPa) e densidade aparente seca (kN/m^3)

7.4 - Ensaio de propagação da velocidade das ondas ultra-sónicas e Ensaios de caracterização da porosidade aberta, absorção de água e densidade aparente

Estes dois ensaios já foram correlacionados anteriormente com o ensaio de resistência à compressão uniaxial, onde se obtiveram para ambos os casos, correlações bastante satisfatórias.

Como seria de esperar, ao se efetuar a correlação entre eles, os resultados seriam necessariamente semelhantes aos conseguidos anteriormente. Como se pode verificar nos gráficos 07.11 e 07.12, para a amostra 1 (zona mais à esquerda) os valores encontram-se bastante afastados da reta, embora com valores muito semelhantes. Para a amostra 7 (zona mais à direita), ao contrário do verificado nos ensaios anteriores (com a resistência à compressão uniaxial), os valores registados não se encontram tão dispersos, sendo mesmo os valores que melhor se correlacionam. Os coeficientes de determinação obtidos com o ensaio à absorção de água e à porosidade aberta foram de, respetivamente, -0,8151 e de -0,8247.

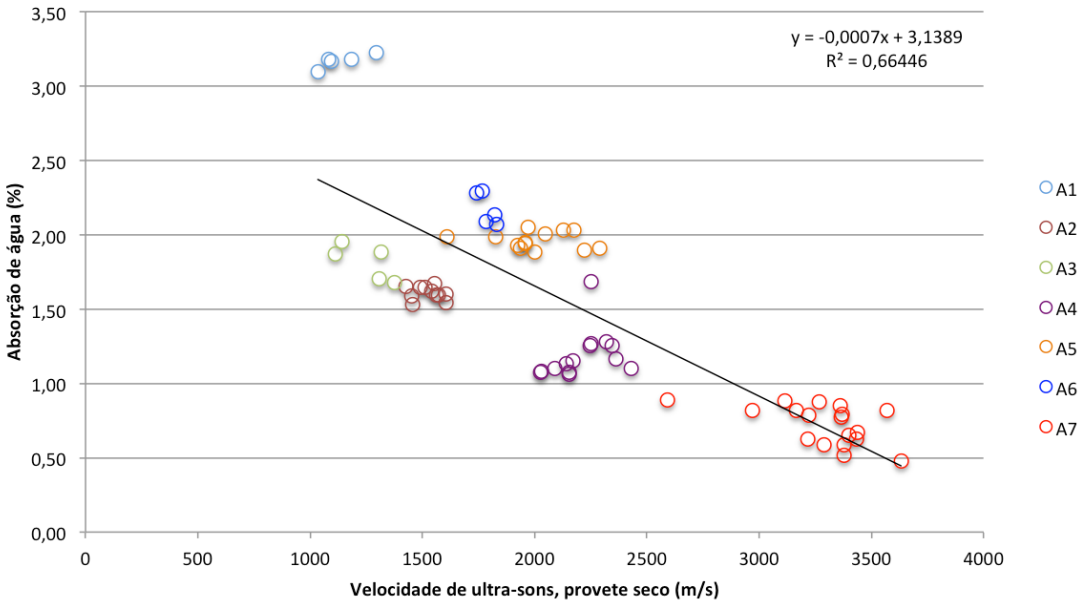


Gráfico 07.11 – Correlação entre os resultados do ensaio da velocidade de ultra-sons (m/s) e a absorção (%)

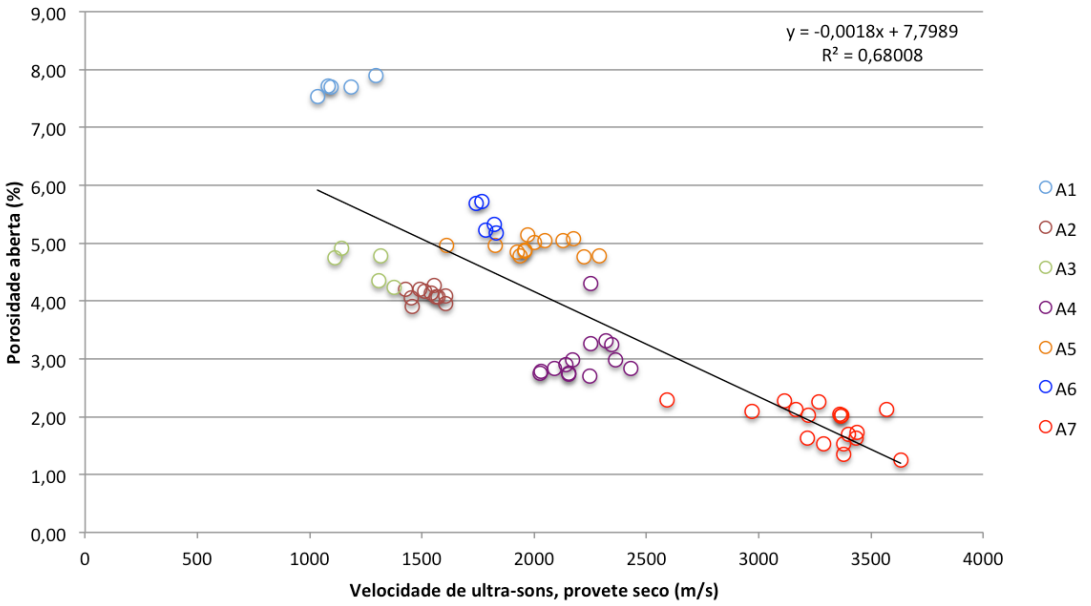


Gráfico 07.12 – Correlação entre os resultados do ensaio da velocidade de ultra-sons (m/s) e a porosidade (%)

No caso da correlação com o ensaio da densidade aparente seca (gráfico 07.13), os resultados mostraram valores mais dispersos para todas as amostras ensaiadas. No caso específico desta propriedade, o coeficiente de determinação verificado com o ensaio de velocidade de ultra-sons é de 0,7178, algo mais baixa, comparado com o ensaio de resistência à compressão uniaxial (0,8004).

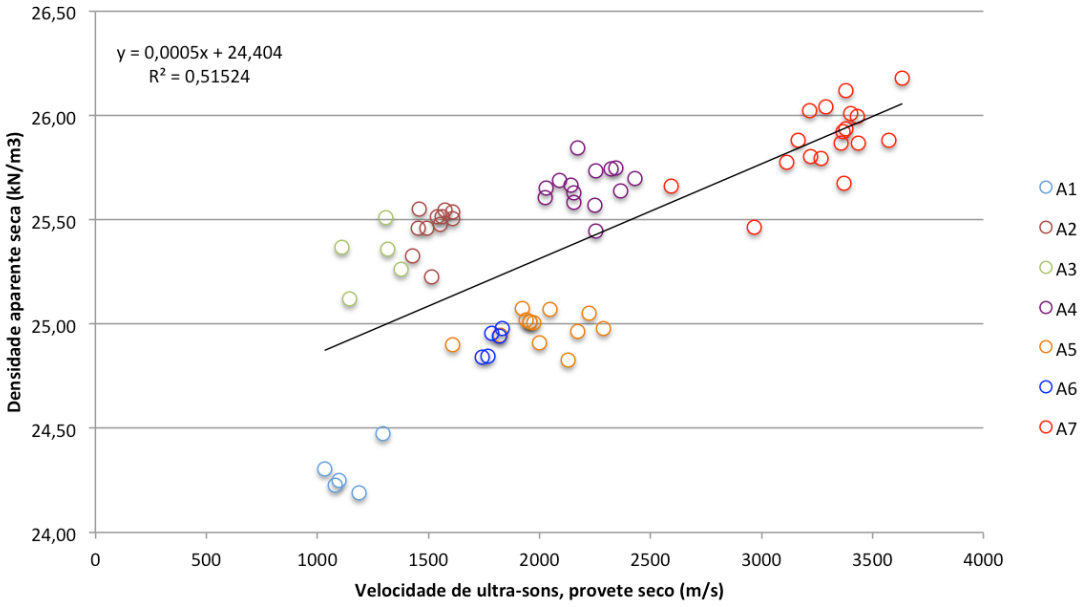


Gráfico 07.13 – Correlação entre os resultados do ensaio da velocidade de ultra-sons (m/s) e a densidade aparente seca (kN/m^3)

7.5 - Ensaio com Recurso ao Martelo de Schmidt e Ensaio com Recurso à Pistola de Windsor

Depois de analisados os dados obtidos em ensaios laboratoriais, importa perceber como se relacionam os resultados obtidos nos ensaios realizados no campo. Neste caso, comparar-se-á os valores obtidos no ensaio com recurso ao Martelo de Schmidt e com recurso à Pistola de Windsor.

Para a obtenção de uma relação entre estes dois ensaios, foram considerados os valores obtidos nos ensaios "*in situ*" com recurso à Pistola de Windsor e os valores obtidos com recurso ao Martelo de Schmidt, para o mesmo silhar.

Ao comparar os valores obtidos (gráfico 07.14), verifica-se que o ensaio realizado com recurso ao Martelo de Schmidt, gera valores estimados à compressão uniaxial sempre superiores, independentemente do tipo de rocha ou do seu grau de alteração.

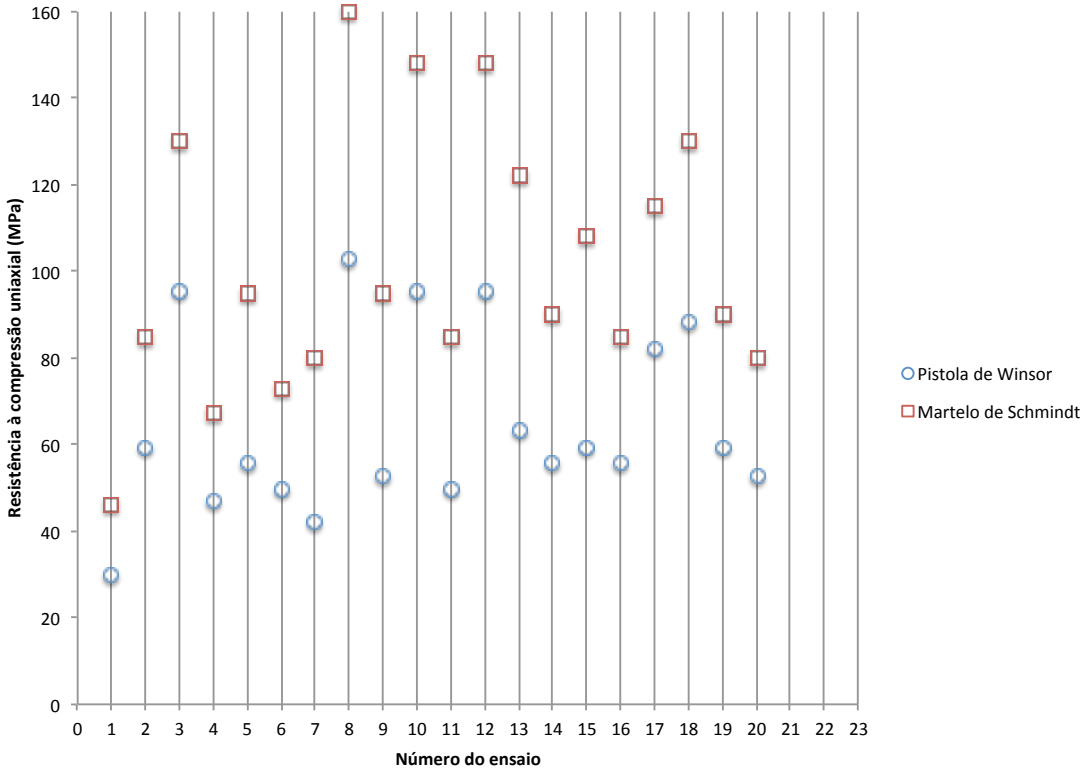


Gráfico 07.14 – Relação entre os resultados do ensaio com recurso ao Martelo de Schmidt (MPa) e ensaio com recurso à Pistola de Windsor (MPa)

Para melhor se perceber as variações obtidas foi calculada a diferença, em percentagem, entre os valores obtidos nos dois ensaios. As percentagens variam entre os 36% e os 93%, não tendo uma relação direta com a resistência da rocha, ou seja, as percentagens vão variando independentemente das resistências obtidas. Esta situação pode dever-se ao fato de que o ensaio com recurso ao Martelo de Schmidt, incidir sobre a superfície da rocha analisada e o ensaio com o recurso à Pistola de Windsor, penetrar no interior do material ensaiado.

As rochas ensaiadas, são constituintes da origem da construção do castelo, pelo que, todas elas apresentam algumas situações patológicas, com graus de gravidade diferentes. Os decaimentos que ocorrem mais à superfície, tais como (colonização biológica, crostas, placas, etc.), podem alterar os valores em ensaios que incidem, sobretudo, sobre essa zona.

7.6 - Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial e Ensaio com Recurso ao Martelo de Schmidt

Considera-se pertinente e útil, comparar os resultados obtidos num ensaio "*in situ*" (Martelo de Schmidt) com um ensaio realizado em laboratório sobre o mesmo tipo de rocha.

Neste caso, relacionaram-se os valores médios obtidos através do ensaio de resistência à compressão uniaxial para cada tipo de amostra, com os valores médios estimados obtidos em material do mesmo tipo através do Martelo de Schmidt.

Na análise destes resultados, terá de se considerar que o ensaio laboratorial foi realizado em provetes recolhidos de amostras e, o ensaio "*in situ*" foi executado em silhares localizados na mesma zona das amostras recolhidas, mas constituintes do mesmo pano de muralha.

Como se pode observar no gráfico 07.15, para todas as amostras os valores estimados de resistência à compressão resultantes do ensaio com recurso ao Martelo de Schmidt, são superiores aos valores do ensaio de resistência à compressão uniaxial realizado em laboratório.

Neste caso foi igualmente calculada a diferença de resultados entre os dois ensaios, onde se verificou para a amostra 1, uma diferença de 101%, obtendo-se uma média superior ao dobro registado em laboratório. Destaca-se que a diferença acentuada referida anteriormente, incide sobre a amostra da rocha com os resultados de resistência mais baixos. De notar igualmente que, para os valores mais altos de resistência, atingiu-se uma percentagem de 50%.

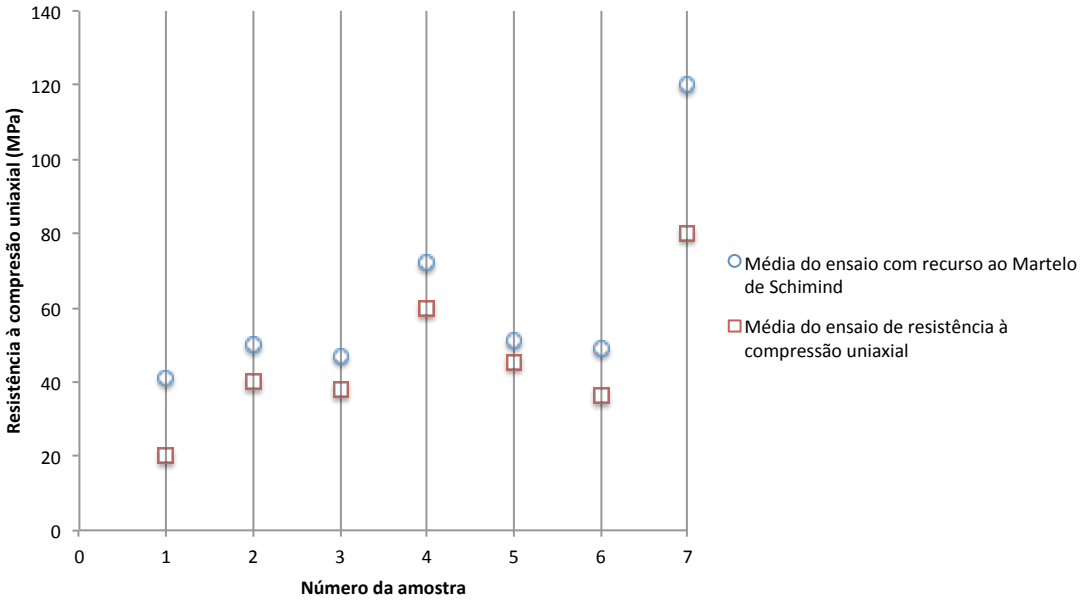


Gráfico 07.15 – Relação entre os valores médios do ensaio de resistência à compressão uniaxial (MPa) e ensaio com recurso ao martelo de Schmidt (MPa)

7.7 - Ensaio laboratorial de propagação da velocidade das ondas ultra-sónicas e Ensaio com Recurso ao Martelo de Schmidt

Tal como se analisou o ensaio laboratorial de resistência à compressão uniaxial com o ensaio "*in situ*" com recurso ao martelo de Schimdt, analisa-se agora o ensaio realizado, para cada provete, através do ensaio de propagação de velocidade das ondas ultra-sónicas e o mesmo ensaio realizado no campo.

No caso dos ensaios atrás realizados, comparou-se os resultados obtidos para as mesmas amostras e verificou-se a diferença de valores obtidos. Neste caso, como se está a comparar valores cujos os resultados têm unidades diferentes, elaborou-se o gráfico de correlação entre as médias obtidas para as diferentes amostras ensaiadas.

No gráfico 07.16, pode-se verificar que existe um boa correlação nos resultados obtidos (0,9244), apresentando apenas para as amostras 5 e 6, valores algo afastados da reta.

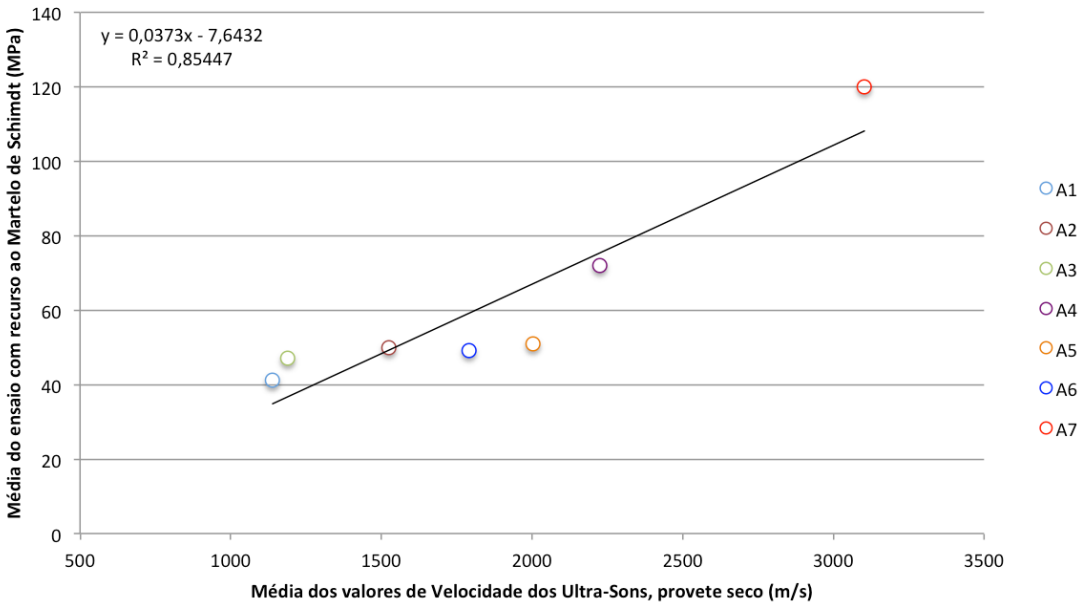


Gráfico 07.16 – Correlação dos resultados da média dos valores obtidos no ensaio laboratorial de Velocidade de Ultra-Sons (m/s) e a média dos valores estimados com recurso ao Martelo de Schimdt (MPa)

7.8 - Ensaio "*In Situ*" de propagação da velocidade das ondas ultra-sónicas e Ensaio com Recurso ao Martelo de Schmidt

Como se tratam de dois ensaios não destrutivos e possíveis de realizar no campo, foram analisados os mesmos silhares com recurso a este tipo de ensaios. As medições de velocidade das ondas ultra-sónicas foram realizadas em silhares que apresentavam algumas patologias e nos quais foi possível proceder à medição no que diz respeito à sua localização e posição. Os resultados obtidos foram os apresentados no quadro 06.04 do capítulo anterior.

Correlacionando os valores obtidos nos dois ensaios, realizou-se o gráfico 07.17, onde se verifica um coeficiente de determinação de 0,9541, superior ao verificado no ensaio realizado em laboratório.

Notar que o valor mais afastado da reta, diz respeito ao ensaio realizado num silhar localizado num dos arcos da casa da câmara, onde era visível uma fissura longitudinal e uma alteração cromática bastante acentuada.

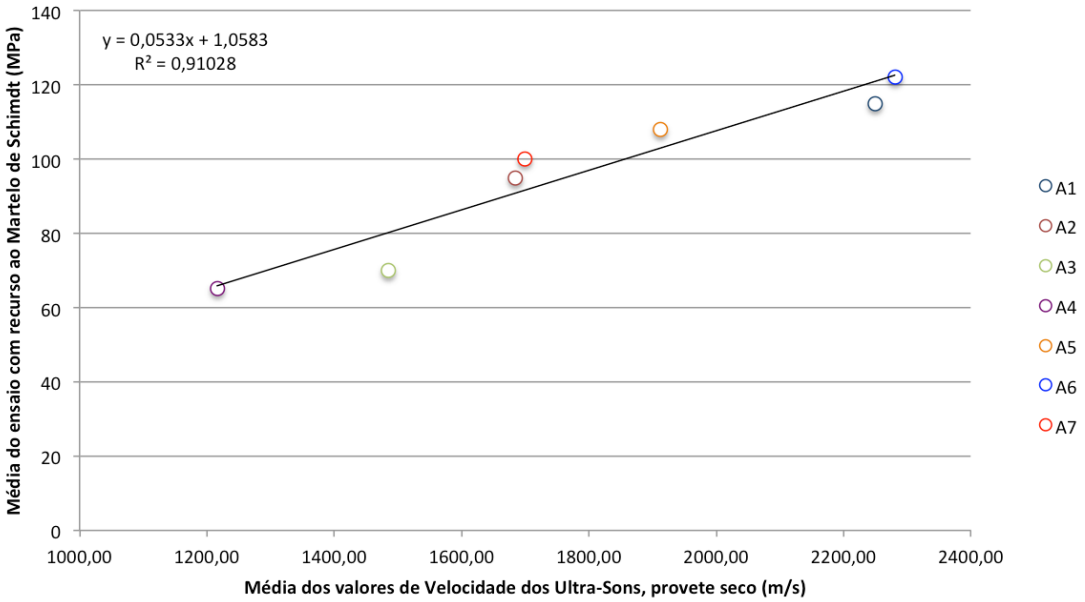


Gráfico 07.17 – Correlação dos resultados da média dos valores obtidos no ensaio *"in situ"* de Velocidade de Ultra-Sons (m/s) e a média dos valores estimados com recurso ao Martelo de Schimdt (MPa)

7.9 - Ensaio uniaxial de compressão simples com extensometria

Por forma a se compreender melhor os resultados obtidos neste tipo de ensaios e perceber a diferença da extensão nas duas amostras analisadas, foram elaborados os gráficos 07.18 a 07.20, onde foram comparados os valores da extensão nas várias direções (transversal e longitudinal), entre a amostra 2/provete 1 e a amostra 4/provete 2. A escolha deste dois provetes deveu-se ao fato de estes serem os que tinham um maior número de valores a serem analisados, uma vez que, como já foi referido, alguns dos cabos condutores dos extensómetros deixaram de dar sinal, não podendo ser analisados os valores em algumas direções.

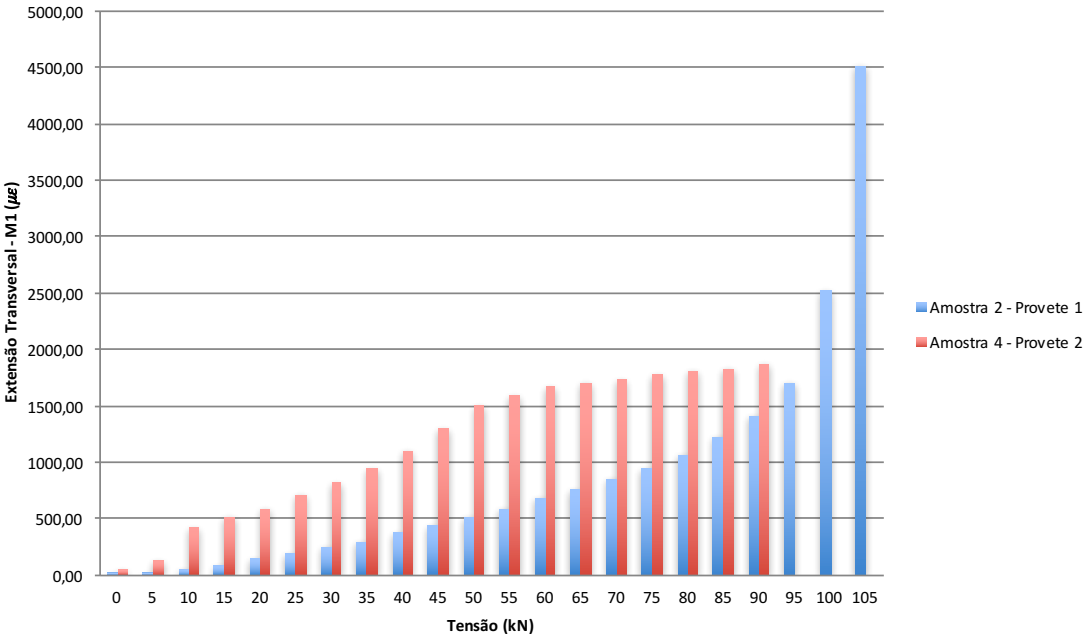


Gráfico 07.18 – Comparação da tensão-deformação transversal (M1) das amostras analisadas

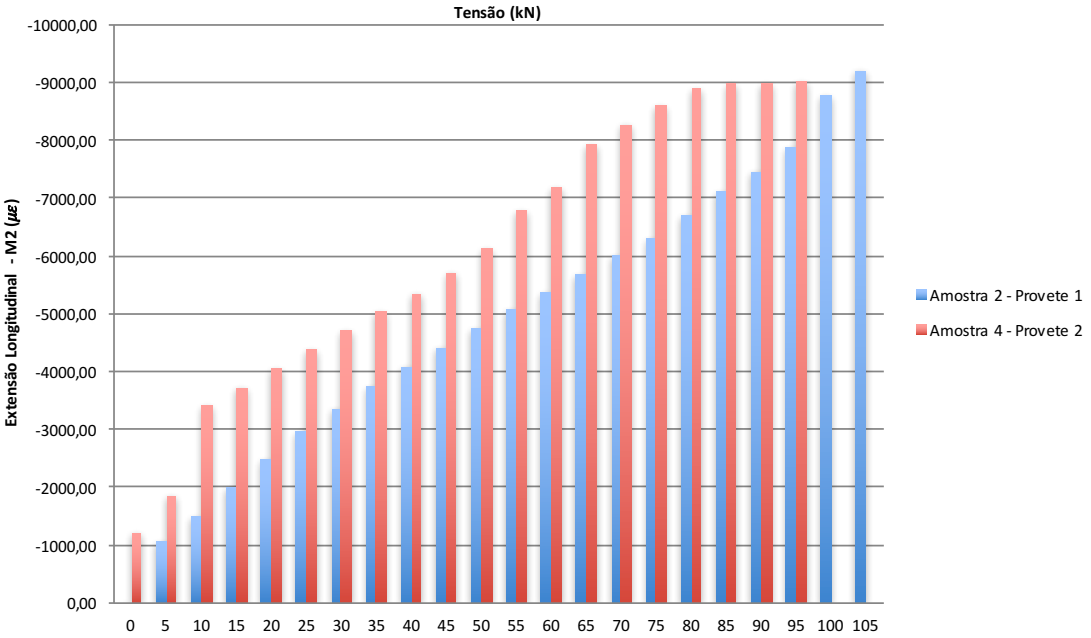


Gráfico 07.19 – Comparação da tensão-deformação longitudinal (M2) das amostras analisadas

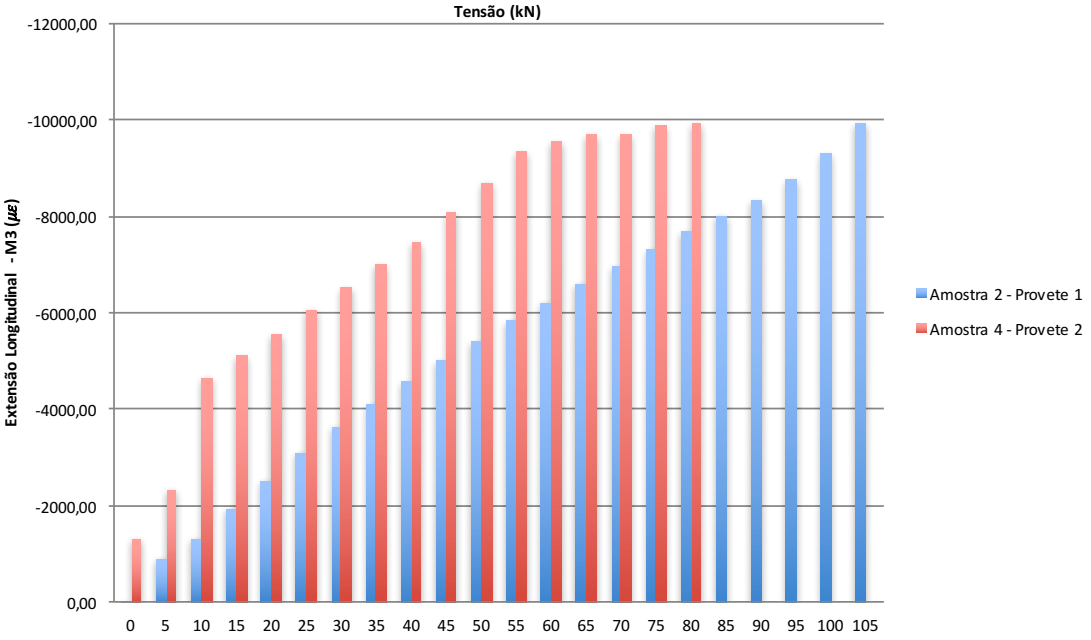


Gráfico 07.20 – Comparação da tensão-deformação longitudinal (M3) das amostras analisadas

Como se pode observar nos gráficos anteriores, os valores da deformação para a mesma tensão, são sempre mais elevados para a amostra 4. Amostra esta que, em todos os ensaios realizados, tanto *"in situ"* como laboratoriais, apresenta melhores caraterísticas no que diz respeito à sua resistência, degradação e alteração. Embora só se apresente neste capítulo a comparação para estes provetes das respetivas amostras, analisando os gráficos elaborados no capítulo 6 (6.2.5.2), verifica-se que para todos os provetes das duas amostras analisadas, esta situação se verifica.

8 – Aplicação informática "CollPath"

Como foi referido e verificado no decorrer deste trabalho, é de extrema importância a objetividade e fiabilidade da recolha dos dados "*in situ*", uma vez que se trata do primeiro contato com as situações patológicas existentes e, se esse trabalho se reverter de subjetividade, porá em causa todas as fases de projetos que se concretizarem posteriormente. Um levantamento mal executado, será a base para um projeto de execução inadequado às situações realmente existentes, tendo como consequência a inviabilidade de execução do mesmo, trazendo danos irreversíveis para a edificação, além dos custos económicos inerentes a um projeto desajustado à realidade existente.

Em 2006, foi desenvolvido um trabalho (Lanzinha, 2006), onde foi criada uma aplicação informática (MEXREB), a qual contribuiu para uma melhor definição de metodologias de inspeção e diagnóstico, aplicada à envolvente exterior dos edifícios habitacionais (com maior incidência em edifícios entre os 5 e 20 anos). A metodologia usada foi de caráter universal, e não está sujeita a interpretações diferentes, ou seja, "*se o trabalho for sério, o resultado será o mesmo, independentemente do técnico envolvido no processo de diagnóstico*".

Tal como no trabalho referido anteriormente, o principal objetivo da aplicação informática "CollPath", consiste em reduzir a subjetividade dos levantamentos realizados em campo, devendo, a recolha de dados, ser um processo o mais objetivo e intuitivo possível, independentemente da visão ou sensibilidade do técnico que o realiza. Esta aplicação consegue ainda elaborar pequenos cálculos, gerar tabelas e gráficos, necessários para boa interpretação dos dados recolhidos, está desenvolvida para edifícios, exclusivamente, constituídos em pedra natural e testada nos granitos existentes no caso de estudo (Castelo de Marialva).

A aplicação é constituída por dois sistemas distintos, mas a trabalhar em conjunto e integrados, um a funcionar em dispositivo móvel (em sistema Android através de equipamentos móveis do tipo smartphone e tablet), o qual será levado para o campo pelo técnico que irá realizar o(s) levantamento(s). Este profissional ficará limitado a um conjunto de opções fornecidas pela aplicação, em que terá que enquadrar o que está a observar dentro de listas fornecidas pela própria aplicação.

Um segundo sistema, estará colocado num posto fixo (gabinete), o qual irá receber toda a informação transmitida pela primeira aplicação e, onde o projetista, poderá analisar/tratar os dados e posteriormente, utilizá-los de uma forma consciente na elaboração de uma solução adequada para as questões levantadas.

Estes dois sistemas, trabalham em simultâneo e em tempo real, ou seja, à medida que o utilizador de campo estiver a utilizar o equipamento móvel e a introduzir dados, alguém no posto fixo, deverá ter acesso imediato a esses dados. Isto deve-se ao fato de em certas situações, o projetista ter dúvidas sobre algumas questões para as quais o técnico não está

sensibilizado ou habilitado, podendo dar instruções para a recolha de dados mais pertinentes e adequados. Nestas situações, existe uma "caixa de diálogo" em ambos os sistemas para a comunicação entre as duas entidades. No caso do smartphone, a comunicação poderá ser oral através de auricular, mas no caso do tablet, esse diálogo é escrito através da "caixa de diálogo". Haverá sempre uma ligação de rede para que os dados possam ser transmitidos em tempo real. No caso de não ser possível, por exemplo por falta de rede móvel em alguns dos locais, o dispositivo móvel guarda todos os dados em memória interna, os quais serão transmitidos logo que existir rede disponível. Em qualquer das situações, o dispositivo móvel, guarda sempre toda a informação em memória interna.

Passa-se agora a descrever o modo funcionamento de cada um dos sistemas e, de uma forma resumida, os conteúdos que cada um contém.

8.1 - Sistema móvel

8.1.1 - Página de abertura

Na página inicial, do sistema móvel, pode-se escolher entre "criar um novo projeto", "visualizar um projeto existente" ou "editar um projeto existente". Sendo o projeto, um levantamento novo, que pode ser no mesmo edifício, ou noutro edifício. Todos os projetos novos têm um código (criado pela própria aplicação), e esse código nunca é repetido.

Por forma a proteger os dados, uma vez que há a responsabilidade de quem elabora o levantamento e de quem o analisa, para cada projeto, existe um código (password), de forma que só o responsável pelo levantamento possa editar a informação, bem como, o responsável pelo projeto seja o único a poder editar os dados recebidos. Em qualquer dos casos, qualquer pessoa pode visualizar os dados de qualquer projeto. Existe a figura de administrador, a qual terá total acesso a todos os dados, no que diz respeito à edição e visualização. Só esta entidade pode registar novos utilizadores.

Assim sendo, a página de introdução tem as seguintes opções:

- Designação do projeto;
- Nome da entidade/requerente;
- Identificação do responsável do projeto;
- Identificação do responsável pelo levantamento;
- Data;
- Código do projeto.

Na figura 08.01, ilustra-se o layout da página de introdução.

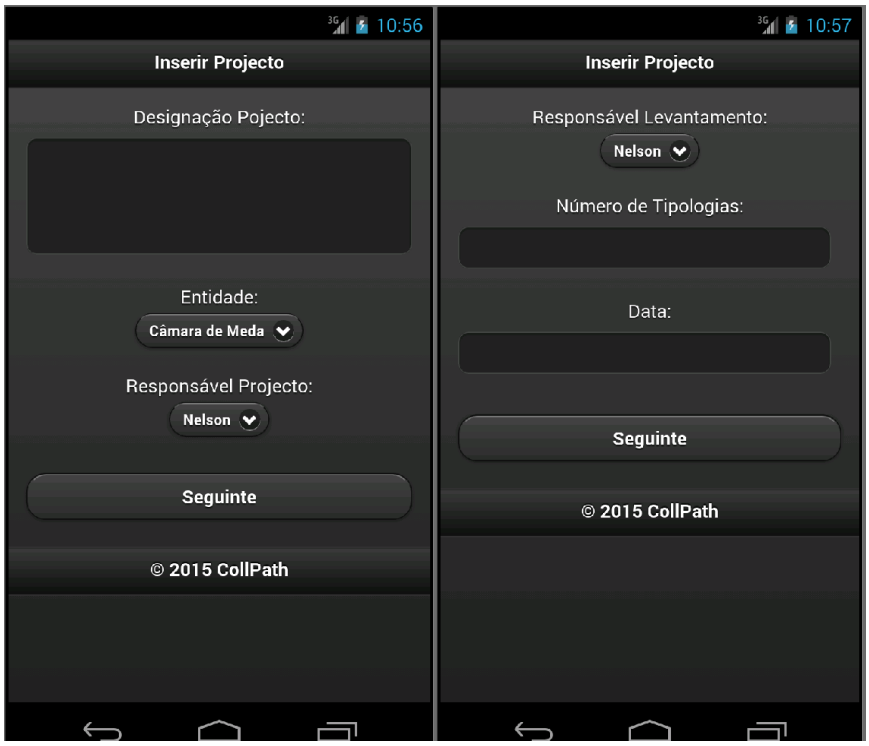


Figura 08.01 – Página de inserção de dados relativos ao projeto e número de patologias

8.1.2 - Identificação do imóvel

Após se terem inserido os dados relativos ao projeto, importa identificar o imóvel. Esta aplicação está pensada para a realização de levantamentos em edifícios em pedra, tenham eles interesse histórico ou não. Assim, estão previstas as classificações próprias, bem como os dados relativos a este tipo de edifícios. No caso de ser um edifício que não se enquadre na listagem fornecida na aplicação, existe sempre a opção de "não aplicável".

Esta página tem os seguintes dados:

- Designação do Imóvel e/ou morada.

No caso de ser um edifício histórico, existe uma designação que deve ser inserida. No caso de um edifício não classificado, essa designação não existe, tornando-se necessário introduzir a morada com o respetivo número de polícia.

- Distrito ⟶ Concelho ⟶ Freguesia

A aplicação contém uma lista de todos os Distritos, Concelhos e Freguesias. Ao escolher um Distrito, na lista de Concelhos só ficarão disponíveis os Concelhos respetivos a esse Distrito. Após selecionar o Concelho, só estarão disponíveis as Freguesias correspondentes a esse Concelho. Na lista das Freguesias, a última opção da lista é "----", para o caso do utilizador não conseguir identificar a freguesia onde se encontra.

- Coordenadas GPS

Nesta fase o técnico está junto ao edifício. Existe uma opção, na aplicação em que é apenas necessário selecionar, para que o dispositivo móvel registe a coordenada GPS do local onde se encontra.

- Tipo de Monumento/edifício
    1. Arqueologia;
    2. Património Industrial;
    3. Arquitetura Civil;
    4. Arquitetura Militar;
    5. Arquitetura Mista;
    6. Arquitetura Religiosa;
    7. Não definida;
    8. Não aplicável - Tipo de edifício?

Na opção "tipo de monumento/edifício", há uma lista dos tipos de monumentos existentes. Caso se trate de um edifício que não tenha qualquer classificação histórica, o utilizador terá disponível a opção "8". Ao selecionar esta opção, abrirá uma caixa de texto com a pergunta "tipo de edifício?", onde o utilizador deverá fazer uma pequena descrição do mesmo.

- Classificação
    1. Classificado como IIP – Imóvel de Interesse Público;
    2. Classificado como IIM – Imóvel de Interesse Municipal;
    3. Classificado como MIP – Monumento de Interesse Público;
    4. Classificado como MIM – Monumento de Interesse Municipal;
    5. Classificado como MN - Monumento Nacional;
    6. Classificado como PM - Património Mundial;
    7. Em Vias de Classificação;
    8. Imóvel de Valor Concelhio;

9. Imóvel de Valor Local;
10. Imóvel de Valor Regional;
11. Em estudo (com despacho de abertura);
12. Inserido em Zona Especial de Proteção (ZEP);
13. Em área de proteção de Monumento Nacional;
14. Em estudo (com despacho de abertura);
15. Outro;
16. Não Classificado.

Nesta área, o utilizador limita-se a escolher uma das opções da lista. Caso seja um edifício não histórico, escolhe a opção "16".

- Estado de Conservação
    1. Bom;
    2. Regular;
    3. Mau;
    4. Destruído;
    5. Em perigo;
    6. Outra - descrição.

O utilizador escolhe uma das opções da lista. Caso não se identifique com nenhuma, deverá escolher a opção "6". Ao selecionar esta opção, abrirá uma caixa de texto com a pergunta "descrição do estado de conservação" onde o utilizador deverá elaborar uma pequena descrição do mesmo.

- Registo fotográfico

Nesta zona o utilizador deverá elaborar um registo fotográfico do edifício que descreveu. A aplicação suporta o registo de 4 fotografias. Como as câmaras fotográficas dos dispositivos móveis registam imagens com qualidade bastante alta e pesada, a aplicação converte essas imagens para um formato mais pequeno, por forma a serem transmitidas para o posto fixo de forma fácil e rápida. De qualquer forma, o formato original fica guardado no dispositivo. Assim, ao tirar uma fotografia, esta fica gravada no seu formato original. Para esta ser enviada para o posto fixo através da rede móvel, a aplicação converte as imagens para o formato adequado a essa operação.

Na figura 08.02 ilustra-se o layout da página de identificação do imóvel.



Figura 08.02 – Página de inserção de dados relativos ao imóvel onde se irá proceder ao levantamento

8.1.3 - Tipologia

Nesta secção, irão identificar-se as tipologias de rochas, alvenarias e assentamentos, predominantes no edifício. Para tal, são introduzidos os seguintes dados:

- Tipo de rocha:
    1. Granito;
    2. Xisto;
    3. Calcário;
    4. Mármore;
    5. Outro - Qual?

Nesta secção estão listados os tipos de rochas mais comuns na constituição dos edifícios antigos. Caso o tipo de rocha não se enquadre na lista, o utilizador terá disponível a opção "5". Ao selecionar esta opção, abrirá uma caixa de texto com a pergunta "Qual?", onde o utilizador deverá fazer uma pequena descrição da mesma.

- Tipo de alvenaria:
    1. Aparelhada:

a) Regular com fiadas iguais;

b) Irregular;

c) Regular em painéis;

d) Cantos acossados, junta larga.

2. Ordinária:

a) Pedra irregular;

b) Alvenaria de junta larga;

c) Pedra irregular;

d) Pedra lamelar;

e) Pedra irregular corrigida;

f) Pedra irregular natural.

3. Pedra seca ou sem junta.
4. Outra.

Nesta secção estão listados os tipos de alvenarias mais comuns na constituição dos edifícios antigos. Caso o tipo de alvenaria não se enquadre na lista, o utilizador terá disponível a opção "4". Ao selecionar esta opção, abrirá uma caixa de texto com a pergunta "Qual?", onde o utilizador deverá fazer uma pequena descrição da mesma e obrigatoriamente terá que tirar uma fotografia que ilustre o tipo de alvenaria (a imagem terá os mesmos requisitos descritos para o "registo fotográfico" da secção 8.1.2 do presente capítulo). Junto de cada tipologia listada, por forma que o utilizador perceba, ou não tenha dúvidas, sobre a tipologia em questão, é mostrada uma pequena ilustração da tipologia em causa.

- Tipo de assentamento:
  1. Horizontal;
  2. Horizontal/Vertical;
  3. Aleatório;
  4. Escalonado com fiadas de Regularização;
  5. Em "Espinha de Peixe";
  6. Com calços ou cunhas;
  7. Outro.

Neste caso, estão listados os tipos de assentamentos mais comuns na constituição dos edifícios antigos. Caso o tipo de assentamento não se enquadre na lista, o utilizador terá disponível a opção "7". Ao selecionar esta opção, abrirá uma caixa de texto com ordem de "Descrição do tipo de assentamento", onde o utilizador terá que fazer uma pequena

descrição da mesma e obrigatoriamente terá que tirar uma fotografia que ilustre o tipo de alvenaria. Junto de cada tipologia listada, para que o utilizador perceba, sem dúvidas, sobre a tipologia em questão, será mostrada uma pequena ilustração, tal como no caso dos tipos de alvenaria.

- Fotografia elucidativa de um ou vários paramentos

No caso do utilizador ter optado por opções da lista, sem descrever nem fotografar nenhuma tipologia, então terá que tirar uma fotografia à tipologia que acabou de selecionar. No caso de ter preenchido o subponto 4 (tipos de alvenaria) ou o subponto 7 (tipo de assentamento), não será necessário preencher este campo.

- Coordenadas GPS

Nesta altura o utilizador está junto ao paramento em análise. Existe uma opção, na aplicação, que é apenas necessário selecionar para que o dispositivo móvel registe a coordenada GPS do local onde se encontra.

Esta secção (8.1.3) repete-se as vezes necessárias quantos "tipo de alvenaria" ou "tipo de assentamento" diferentes existirem no edifício em estudo.

8.1.4 - Patologias

Nesta secção o utilizador terá que identificar o tipo ou tipos de patologias que consegue observar em várias zonas do elemento em estudo. Para tal, são introduzidos os seguintes dados:

- Tipo de patologia:
    1. Abrasão;
    2. Alteração cromática;
    3. Alveolização;
    4. Arenização;
    5. Cavernas;
    6. Colonização biológica;
    7. Concreção;

8. Corrosão de fixações metálicas;
9. Crosta;
10. Danos de guerra;
11. Deformação;
12. Degradação diferencial;
13. Depósito superficial;
14. Desagregação granular;
15. Eflorescência;
16. Empolamento;
17. Erosão;
18. Escamação ou Descamação;
19. Esfoliação;
20. Fissura;
21. Fratura;
22. Fragmentação;
23. Incrustração;
24. Junta aberta;
25. Lacuna;
26. Lascagem;
27. Mancha;
28. Pátina;
29. Película;
30. Picadura ou Picamento;
31. Placa;
32. Plaqueta;
33. Pulverização;
34. Vegetação;
35. Outra.

O utilizador pode escolher uma ou várias opções da lista. Ao escolher uma opção abrirá uma caixa de texto com a designação "principais características", onde se poderá descrever de uma forma sucinta o que se está a observar e o que se achar por pertinente para uma boa

perceção (dimensão, coloração, quantidade, orientação, etc). Caso não consiga identificar a patologia, ou patologias, com as designações listadas, deverá optar pela "35", onde abrirá uma caixa de texto para descrever em pormenor o que está a observar.

- Área afetada

Para o cálculo da área afetada o utilizador deve fornecer o comprimento do paramento afetado pela ou pelas patologias, bem como a altura das mesmas. A aplicação tem uma caixa de texto (onde só poderão ser inseridos números), com a designação de "comprimento (m)" e uma outra, com a designação "altura (m)". Após a inserção dos valores, numa terceira caixa surgirá o resultado com a designação "Área afetada (m^2)". A aplicação realiza o cálculo automaticamente : Comprimento X Altura.

- Cota

Após o cálculo da área afetada, o utilizador terá de inserir numericamente, a cota em relação ao terreno/pavimento a que se encontra a situação patológica que detetou. Para tal a aplicação tem uma caixa designada "Cota (m)".

- Coordenadas GPS

Nesta altura o utilizador está junto a uma ou várias patologias. Existe uma opção, na aplicação, que é apenas necessário selecionar para que o dispositivo móvel registe a coordenada GPS do local onde se encontra.

- Identificação na(s) peça(s) desenhada(s)

No caso de haver um levantamento das fachadas ou outro e, o utilizador lhe tenha acesso, poderá identificar qual a peça desenhada onde se encontra a patologia ou patologias, com a inserção do número da peça desenhada.

Preferencialmente, o utilizador deverá levar esse levantamento arquitetónico, em formato digital, no seu dispositivo móvel e conseguir abri-lo e identificar claramente a zona a que se refere. Se for o caso, a aplicação abre um desenho vetorial (formato .dxf), ou se estiver instalado no dispositivo móvel, uma aplicação específica para o efeito, esta abre automaticamente, por forma a serem registadas as zonas afetadas. No caso de ser a própria aplicação (agora criada) a abrir um desenho vetorial, estão incluídas algumas ferramentas básicas de desenho, tais como: linha, retângulo, circunferência e medição de distâncias e ângulos.

- Fotografia elucidativa da patologia ou patologias descritas

Será obrigatória a inserção de uma fotografia das situações patológicas descritas, na zona onde se encontra. Neste campo está inserida uma nota, para lembrar o utilizador da obrigatoriedade da utilização de um elemento de escala "Antes de proceder ao registo, colocar elemento de escala junto à situação a registar".

- Tipo de causa provável

1. Humanas:

a) Alteração das condições de utilização;

b) Remodelações e/ou alterações mal estudadas;

c) Degradação dos materiais (deterioração anormal, incúria na utilização)

d) Ausência, insuficiência ou inadequação da manutenção;

e) Vandalismo;

f) Outra - Qual?

2. Ações naturais:

a) Ações físicas;

i) Gravidade;

ii) Variações de temperatura;

iii) Temperaturas extremas;

iv) Vento (pressão, abrasão, vibração);

v) Presença de água (chuva, neve, humidade do solo,…);

vi) Efeitos diferidos (retração, relaxação);

vii) Outra - Qual?

b) Ações químicas:

i) Oxidação;

ii) Carbonatação;

iii) Presença de água;

iv) Presença de sais;

v) Chuva ácida;

vi) Reações eletroquímicas;

vii) Radiação solar (ultra-violetas);

viii) Outra - Qual?

3. Desastres naturais:

   a) Sismo, ciclone, tornado;

   b) Trovoada, cheia, tempestade marítima, tsunami;

   c) Avalanche, deslizamento de terras, erupção vulcânica;

   d) Outro - Qual?

4. Desastres de causas humanas:

   a) Fogo;

   b) Explosão;

   c) Choque;

   d) Inundação;

   e) Outro - Qual?

No tipo de causa provável, o utilizador deverá cingir-se à lista de causas prováveis. No entanto, estão sempre inseridos no final de cada lista, a opção "outro(a)", no caso em que o utilizador não consiga identificar a causa provável dentro da lista. Nestas opções está disponível uma caixa de texto com a pergunta "Qual?", onde poderá inserir um texto explicativo.

Esta secção (8.1.4) pode-se repetir as vezes necessárias, quanto ao tipo de zonas afetadas por situações patológicas existentes no edifício.

No que diz respeito ao levantamento de situações patológicas, a aplicação acaba neste ponto. A fase seguinte consiste em dar a possibilidade ao utilizador de registar valores de ensaios elaborados no campo, caso seja essa a intenção ou propósito do trabalho. Para tal, existe a seguinte opção:

- Realização de ensaios "*in-situ*"

  Sim ✓

  Não ✓

No caso de "sim", então abrirá uma página de ensaios onde o utilizador poderá escolher o tipo(s) de ensaio(s) que quer realizar. No caso de "não", o registo de dados fica concluído.

Como já foi referido, também aqui, optou-se pela realização de ensaios muito expeditos, de fácil execução e análise e de custos reduzidos, sendo eles:

I - Martelo de Schmidt

II - Pistola de Windsor

III - Velocidade de Propagação das Ondas Ultra-Sónicas

8.1.5 - Ensaios "*In Situ*"

A aplicação tem a capacidade de registar e fazer alguma análise relativa a ensaios expeditos realizados no campo. Para cada tipo de ensaio disponível verifica-se o seguinte:

8.1.5.1 - Martelo de Schmidt (Gonzalez de Vallejo et al, 2002).

- Número do ensaio

O utilizador deverá fazer vários registos com este tipo de equipamento, pelo que se torna necessário numerar o ensaio. Esta é feita automaticamente pela aplicação, iniciando-se com as letras MS (Martelo de Schmidt) e logo de seguida o número do ensaio. (ex. MS1, MS2, MS3,...)

Para cada ensaio registam-se os seguintes dados:

- Data e hora

Para cada ensaio é registada a data e hora em que foram realizados. Este processo é feito automaticamente pela aplicação.

- Coordenadas GPS

Nesta altura o utilizador está junto do silhar onde vai proceder ao ensaio. Existe uma opção, na aplicação, que apenas é necessário selecionar para que o dispositivo móvel registe a coordenada GPS do local onde se encontra.

- Cota (em relação ao pavimento/terreno)

O utilizador insere numericamente a cota em relação ao terreno/pavimento da zona onde irá efetuar o ensaio. Para tal, a aplicação tem uma caixa designada "Cota (m)".

- Observações

Este campo é de preenchimento opcional, caso o utilizador queira descrever alguma situação que julgue pertinente.

Na utilização deste equipamento, seguindo as recomendações de Gonzalez de Vallejo et al (2002), o utilizador, para cada ensaio, terá que elaborar 10 registos no mesmo local (silhar), pelo que, ao selecionar o número do ensaio, será que ser criada uma tabela onde serão inseridos os 10 valores.

(Realizar 10 registos por cada ensaio)

MS1(1):

MS1(2):

MS1(3):

MS1(4):

…

MS1(10):

No caso anterior MS1 diz respeito ao número do ensaio realizado com o equipamento e (1) refere-se ao número do registo.

- Dureza (R)

Para o cálculo da dureza, a aplicação elimina os 5 valores mais baixos e faz a média dos restantes.

- Alteração

W1 – $R \geq 40$

W2 – $30 \leq R \leq 39$

W3 – $20 \leq R \leq 29$

W4 – $R \leq 19$

W5 – Sem registo de R

Este campo é igualmente preenchido automaticamente. Onde as correspondências anteriores estão inseridas na aplicação e mediante o valor calculado de (R), a aplicação atribui um fator de alteração.

- Fotografia elucidativa da zona ensaiada

É obrigatória a inserção de uma fotografia no final de cada ensaio.

- Identificação na(s) peça(s) desenhada(s)

Este campo tem os mesmos requisitos, já descritos na secção 8.1.4.

O que foi descrito diz respeito apenas a um ensaio. O utilizador fará o número de ensaios que achar por pertinente, pelo que, este procedimento repete-se as vezes necessárias, alterando o número do ensaio.

Quando o utilizador dá como finalizados os ensaios deste tipo, a aplicação gera um quadro com as seguintes características:

Quadro 08.01 - Registos do ensaio realizado com o Martelo de Schmidt

Ensaio (n.º)	Dureza (R)	Observações	Grau de alteração
MS 1	Valor calculado pela aplicação	Texto introduzido no ensaio de campo "observações"	Grau de alteração calculado (Wi)
MS 2	Valor calculado pela aplicação	Texto introduzido no ensaio de campo "observações"	Grau de alteração calculado (Wi)
MS 3	Valor calculado pela aplicação	Texto introduzido no ensaio de campo "observações"	Grau de alteração calculado (Wi)
MS n	Valor calculado pela aplicação	Texto introduzido no ensaio de campo "observações"	Grau de alteração calculado (Wi)

Os dados deste quadro, além de serem transmitidos para o sistema fixo, têm a possibilidade de serem exportados e inseridos, para um software tipo "excel".

8.1.5.2 - Pistola de Windsor (Ladeira,1996)

- Número do ensaio

Ao realizar ensaios com este tipo de equipamento, torna-se necessário a sua numeração. Essa numeração é realizada automaticamente pela aplicação, iniciando-se com as letras PW (Pistola de Windsor) e logo de seguida o número do ensaio (ex. PW1, PW2, PW3,…).

- Data e hora

Para cada ensaio é registada a data e hora em que foram realizados, este processo é feito automaticamente pela aplicação.

- Coordenadas GPS

Nesta altura o utilizador está junto do silhar onde vai proceder ao ensaio. Existe uma opção, na aplicação que apenas é necessário selecionar para que o dispositivo móvel registe a coordenada GPS do local onde se encontra.

- Cota (em relação ao pavimento/terreno)

O utilizador insere numericamente a cota em relação ao terreno/pavimento da zona onde irá efetuar o ensaio. Para tal, a aplicação tem uma caixa designada "Cota (m)".

- Observações

Este campo é de preenchimento opcional, caso o utilizador queira descrever alguma situação que julgue pertinente.

- Tamanho do projétil (cm)

Campo a preencher pelo utilizador, onde irá registar a dimensão do projétil que será usado no ensaio.

- Diferença da penetração (cm)

Após a realização do ensaio, o utilizador terá que medir a penetração conforme o especificado na norma utilizada. Estes valores são inseridos pelo utilizador diretamente na aplicação.

- Profundidade de penetração – *p* (cm)

Valor calculado pela aplicação em que: *p = Valor do tamanho de projétil + Valor da diferença de penetração.*

- Valor estimado da resistência à compressão uniaxial – R_c (MPa)

Valor calculado pela aplicação em que: $R_c = 1.33 \times 10^6 \, p^{-2.33}$

- Fotografia elucidativa da zona ensaiada

É obrigatória a inserção de uma fotografia no final de cada ensaio.

- Identificação na(s) peça(s) desenhada(s)_ Nº(s)

Este campo tem os requisitos já descritos na secção 8.1.4.

O que foi descrito diz respeito apenas a um ensaio. O utilizador fará o número de ensaios que achar pertinente, pelo que, este procedimento repete-se as vezes necessárias, alterando o número do ensaio.

Quando o utilizador dá como finalizados os ensaios deste tipo, a aplicação gera um quadro com as seguintes características:

Quadro 08.02 - Registos do ensaio realizado com a Pistola de Windsor

Ensaio (n.º)	Projétil (cm)	Diferença (cm)	Penetração - *p* (cm)	Valor estimado de resistência à compressão uniaxial - R_c (Mpa)	Observações
PW 1	Inserido pelo utilizador	Inserido pelo utilizador	Calculado pela aplicação	Valor calculado pela aplicação	Texto introduzido no ensaio de campo “observações”
PW 2	Inserido pelo utilizador	Inserido pelo utilizador	Calculado pela aplicação	Valor calculado pela aplicação	Texto introduzido no ensaio de campo “observações”
PW 3	Inserido pelo utilizador	Inserido pelo utilizador	Calculado pela aplicação	Valor calculado pela aplicação	Texto introduzido no ensaio de campo “observações”
PW n	Inserido pelo utilizador	Inserido pelo utilizador	Calculado pela aplicação	Valor calculado pela aplicação	Texto introduzido no ensaio de campo “observações”

Os dados deste quadro, além de serem transmitidos para o sistema fixo, têm a possibilidade de ser exportados e inseridos para um software tipo “excel”.

8.1.5.3 - Velocidade de Propagação das Ondas Ultra-Sónicas (BS1881, B.S.I. 1986)

- Número do ensaio

Se o utilizador optar por fazer ensaios com este tipo de equipamento, torna-se necessária a sua numeração. Essa numeração é realizada automaticamente pela aplicação, iniciando-se com as letras US (Ultra Sons) e logo de seguida o número do ensaio (ex. US1, US2, US3,…).

- Data e hora

Para cada ensaio é registada a data e hora em que foram realizados. Este processo é feito automaticamente pela aplicação.

- Coordenadas GPS

Nesta altura o utilizador está junto do silhar onde vai proceder ao ensaio. Existe uma opção, na aplicação, que apenas é necessário selecionar, para que o dispositivo móvel registe a coordenada GPS do local onde se encontra.

- Cota (em relação ao pavimento/terreno)

O utilizador insere numericamente a cota em relação ao terreno/pavimento da zona onde irá efetuar o ensaio. Para tal, a aplicação tem uma caixa designada "Cota (m)".

- Observações

Este campo é de preenchimento opcional, caso o utilizador queira descrever alguma situação que julgue pertinente.

- Comprimento (mm)

Campo a preencher pelo utilizador, onde irá registar a distância entre o emissor e o recetor de ondas do equipamento (comprimento do corpo a ensaiar).

- Leitura de Ultra-sons (u.s)

O utilizador regista o valor dado pelo equipamento.

- Velocidade de Ultra-sons (m/s)

Valor calculado pela aplicação em que *V = (Comprimento/Leitura de ultra-sons)x1000*.

- Fotografia elucidativa da zona ensaiada

É obrigatória a inserção de uma fotografia no final de cada ensaio.

- Identificação na(s) peça(s) desenhada(s)_ Nº(s)

Este campo tem os requisitos já descritos na secção 8.1.4.

Tal como nos outros ensaios, o que foi descrito diz respeito apenas a um ensaio. O utilizador fará o número de ensaios que achar por pertinente, pelo que, este procedimento se repete as vezes necessárias, alterando o número do ensaio.

Quando o utilizador dá como finalizados os ensaios deste tipo, a aplicação gera um quadro com as seguintes características:

Quadro 08.03 - Registos do ensaio de velocidade de Ultra-sons

Ensaio (n.º)	Comprimento (mm)	Leitura de Ultra-sons (u.s)	Velocidade de Ultra-sons (m/s)	Observações
US 1	Valor inserido pelo utilizador	Valor inserido pelo utilizador	Valor calculado pela aplicação	Texto introduzido no ensaio de campo “observações”
US 2	Valor inserido pelo utilizador	Valor inserido pelo utilizador	Valor calculado pela aplicação	Texto introduzido no ensaio de campo “observações”
US 3	Valor inserido pelo utilizador	Valor inserido pelo utilizador	Valor calculado pela aplicação	Texto introduzido no ensaio de campo “observações”
US n	Valor inserido pelo utilizador	Valor inserido pelo utilizador	Valor calculado pela aplicação	Texto introduzido no ensaio de campo “observações”

Os dados deste quadro, além de serem transmitidos para o sistema fixo, têm a possibilidade de ser exportados e inseridos para um software tipo “excel”.

8.1.6 - Análise de resultados

Sempre que o utilizador realiza mais do que um tipo de ensaio no mesmo silhar, tem a possibilidade de perceber a correlação entre os valores obtidos, através de um pequeno gráfico. Para a elaboração do gráfico, os dados serão inseridos num quadro, como se ilustra de seguida (quadro 08.04).

Quadro 08.04 - Exemplo do quadro resumo dos ensaios elaborados

N.º do ensaio de MS	Valor de R	N.º do ensaio de PW	Valor estimado de resistência à compressão uniaxial - *Rc* (MPa)	N.º do ensaio de US	Velocidade de Ultra-sons (m/s)	Observações
MS 1	“valor”	PW 1	“valor”	US 1	“valor”	“texto”
MS 2	“valor”	PW 2	“valor”	US 2	“valor”	“texto”
MS 3	“valor”	PW 3	“valor”	US 3	“valor”	“texto”

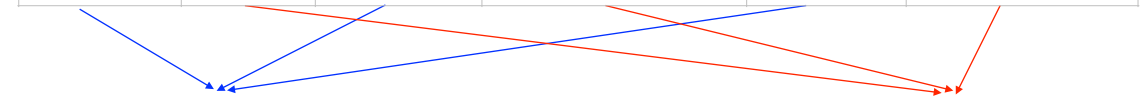
No quadro anterior, o utilizador apenas terá que escolher o "Número do ensaio" de cada tipo. A aplicação irá buscar o valor correspondente já anteriormente calculado. Não é obrigatório ter valores para os 3 tipos de ensaios, mas tem que se ter pelo menos dois tipos de ensaios para o mesmo silhar, de forma a garantir uma correlação.

Sempre que existam 2 valores na mesma linha, a aplicação elabora um gráfico de correlação entre dois ensaios. No final os dados do quadro têm a possibilidade de ser exportados e inseridos para um software tipo "excel", bem como os gráficos realizados.

No quadro seguinte (quadro 08.05) exemplifica-se o descrito com alguns valores retirados dos ensaios.

Quadro 08.05 - Exemplo de preenchimento do quadro resumo dos ensaios elaborados

N.º do ensaio de MS	Valor de R	N.º do ensaio de PW	Valor estimado de resistência à compressão uniaxial - *Rc* (MPa)	N.º do ensaio de US	Velocidade de Ultra-sons (m/s)
MS 1	35	PW 4	80		
MS 3	25	PW 5	70	US 1	1200
MS 5	40	PW 7	98	US 3	2500
MS 8	30			US 7	2100
MS 4	30	PW 8	80	US 9	2000
MS 9	27	PW 10	75	US 11	1900



Campos preenchidos pelo utilizador

Campos preenchidos pela aplicação

Sempre que se pretender, são gerados gráficos de correlação com base no quadro anterior. Julga-se pertinente a aplicação mostrar este tipo de informação, uma vez que o utilizador e/ou o projetista que se encontra fora do local dos ensaios, pode ter uma visão do tipo de correlação obtida e, se necessário, repetir algum dos ensaios, se após a análise, verificar que algum dos valores não se insere dentro do esperado. Sempre que existirem dados suficientes, a aplicação gera 3 gráficos (gráfico 08.01 a 08.03) conforme se ilustra de seguida.

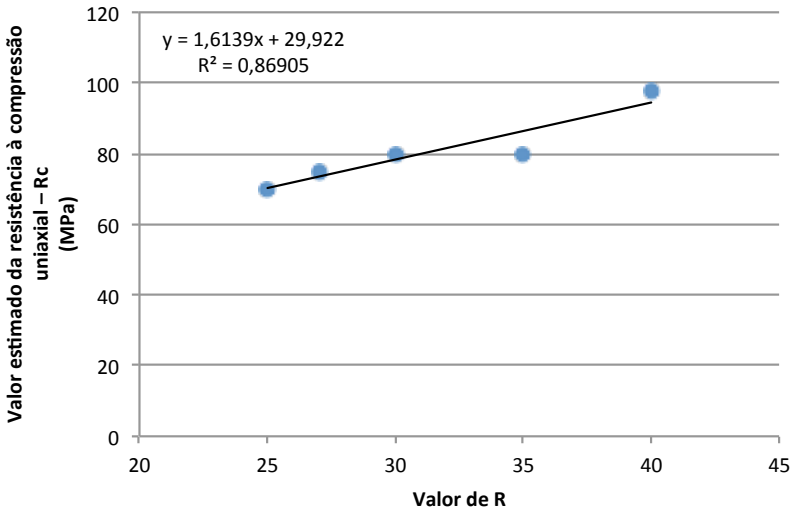


Gráfico 08.01 - Correlação dos resultados do ensaio de com recurso à Pistola de Windsor e com recurso ao Martelo de Schmidt

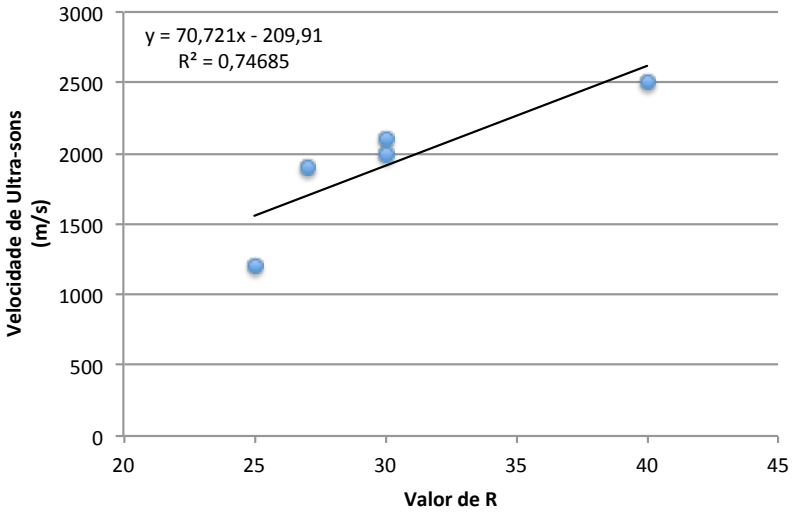


Gráfico 08.02 - Correlação dos resultados do ensaio de Velocidade de Ultra-sons e com recurso ao Martelo de Schmidt

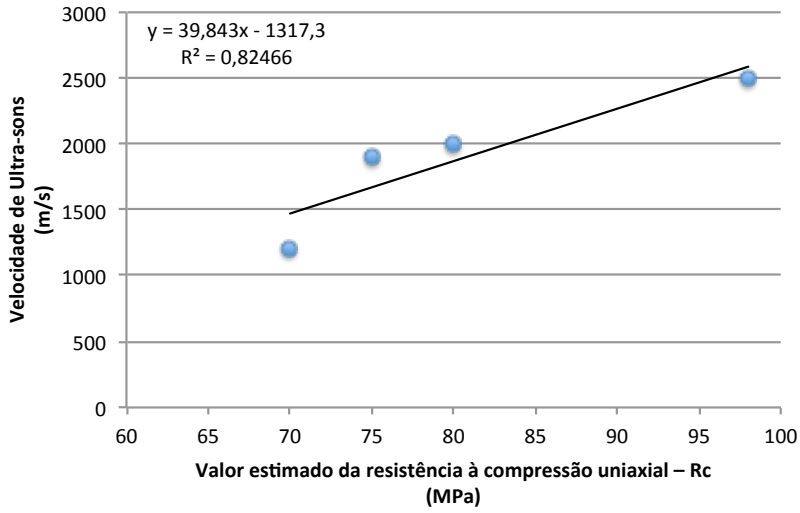


Gráfico 08.02 - Correlação dos resultados do ensaio de Velocidade de Ultra-sons e o ensaio com recurso à Pistola de Windsor

8.2 - Sistema fixo

Como já foi referido, o sistema fixo faz a recolha de toda a informação gerada pela aplicação móvel. Este sistema, que se passa a designar por "aplicação fixa", pode ser instalada em ambiente Windows ou OS X. Enquanto a aplicação móvel está desenvolvida apenas para o sistema Android, esta funciona em ambos os sistemas mais comercializados.

Esta aplicação contém os mesmos campos da aplicação móvel e pela mesma ordem. O utilizador poderá sempre alterar os dados que foram enviados, ou seja, qualquer dado enviado pela aplicação móvel é suscetível de ser alterado na aplicação fixa, com a salvaguarda que os dados originais são sempre guardados e acessíveis sempre que for desejável.

Exemplo:

O utilizador de campo engana-se ao escolher a "freguesia" da zona do levantamento. O utilizador da aplicação fixa pode alterar para a freguesia correta, ficando registada essa alteração.

Os únicos campos que não são suscetíveis de qualquer alteração são: "Nome do projeto"; "Identificação do responsável do projeto"; "Identificação do responsável pelo levantamento"; "Data" e "Código do projeto".

Esta aplicação é uma cópia fiel da aplicação móvel, que recebe todos os dados inseridos (textos, imagens, números, tabelas) e calculados (coordenadas, gráficos, valores), dividida pelas mesmas secções (seis).

As principais diferenças deste sistema, em relação ao sistema móvel, são:

- Ao receber tabelas e gráficos gerados na aplicação móvel, estas serão automaticamente abertas em software de folha de cálculo, por forma a serem analisados;
- Se no dispositivo móvel foram assinaladas zonas em desenho vetorial, esta aplicação tem link direto para um software de leitura de .dxf. (ex. AutoCad).

Todas as opções inseridas pelo utilizador de campo dentro das listas disponíveis são visíveis neste sistema. Nesta aplicação estão disponíveis todas as opções existentes, no caso de necessidade de alteração.

Exemplo: Nos dados da aplicação móvel é selecionada uma patologia designada como "fissura". O utilizador da aplicação fixa, depois de analisar a fotografia enviada, discorda da escolha. Então, nesta aplicação, pode alterar para outro tipo de patologia, mediante a mesma lista de patologias existente na aplicação móvel. Salvaguardando-se que fica registada a alteração e que esta pode ser reversível a qualquer momento.

No que diz respeito aos ensaios (8.1.5) e à análise (8.1.6), esta aplicação tem as mesmas capacidades de gerar tabelas, calcular valores através das equações fornecidas, bem como a criação de gráficos. Esta situação deve-se ao fato de poder haver a necessidade do utilizador querer alterar alguns dados. Ao fazer estas alterações, surgirão novas tabelas e novos gráficos. São estas tabelas e gráficos que são exportadas para a folha de cálculo.

Nas figuras seguintes 08.03 a 08.08, ilustra-se alguns exemplos de layout do sistema fixo.

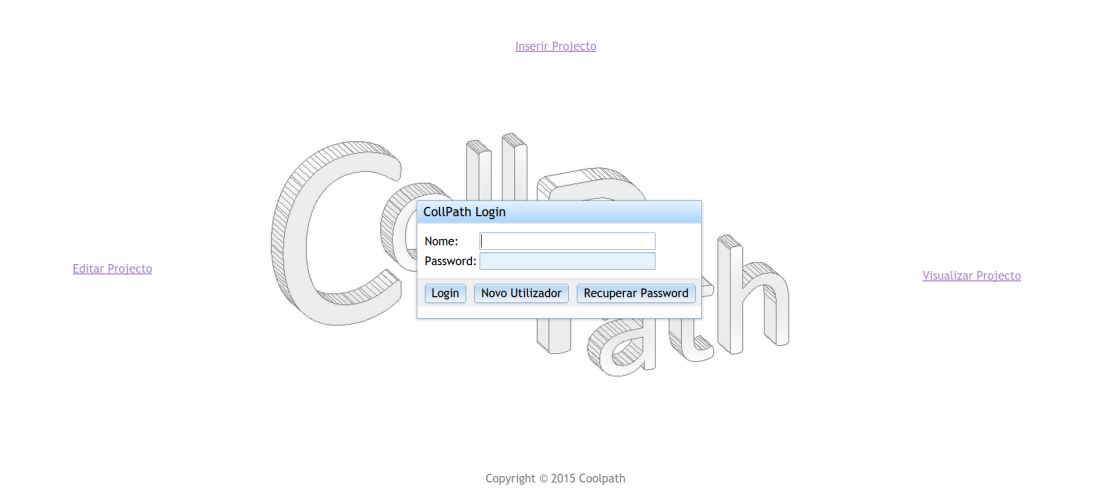


Figura 08.03 – Layout da página de introdução do tipo de utilizador

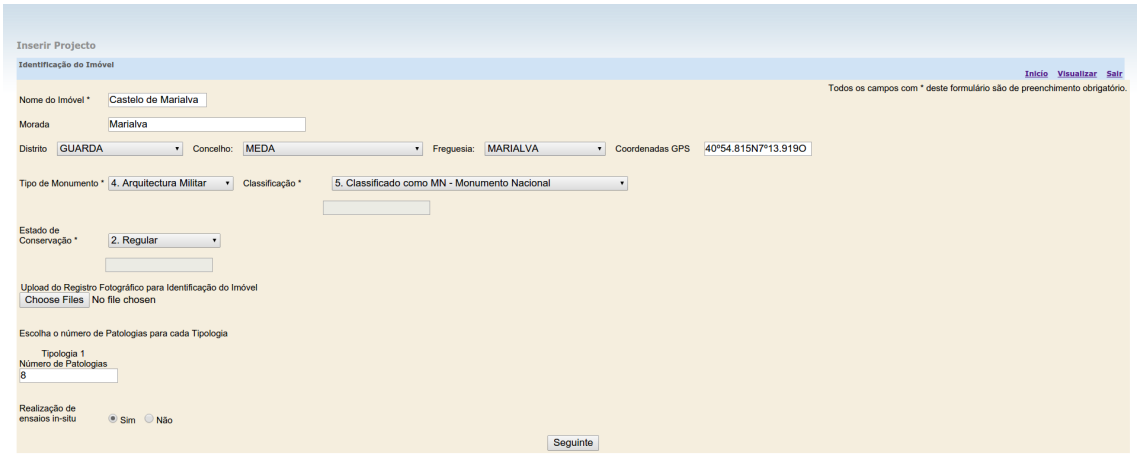


Figura 08.04 – Layout da página de inserção de dados de um projeto

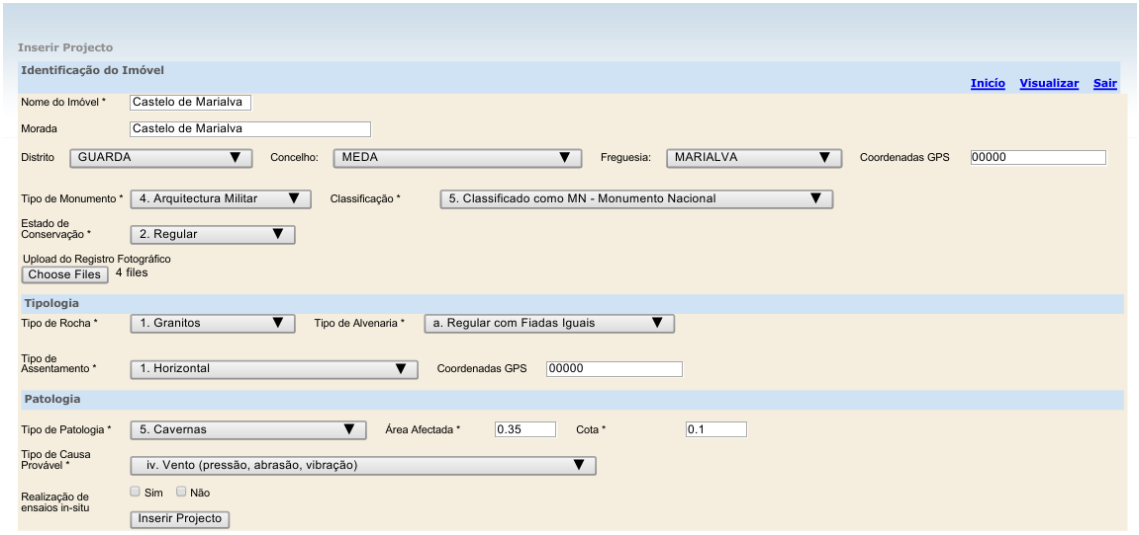


Figura 08.05 – Layout da página de inserção de dados relativos ao imóvel, tipologias e patologias

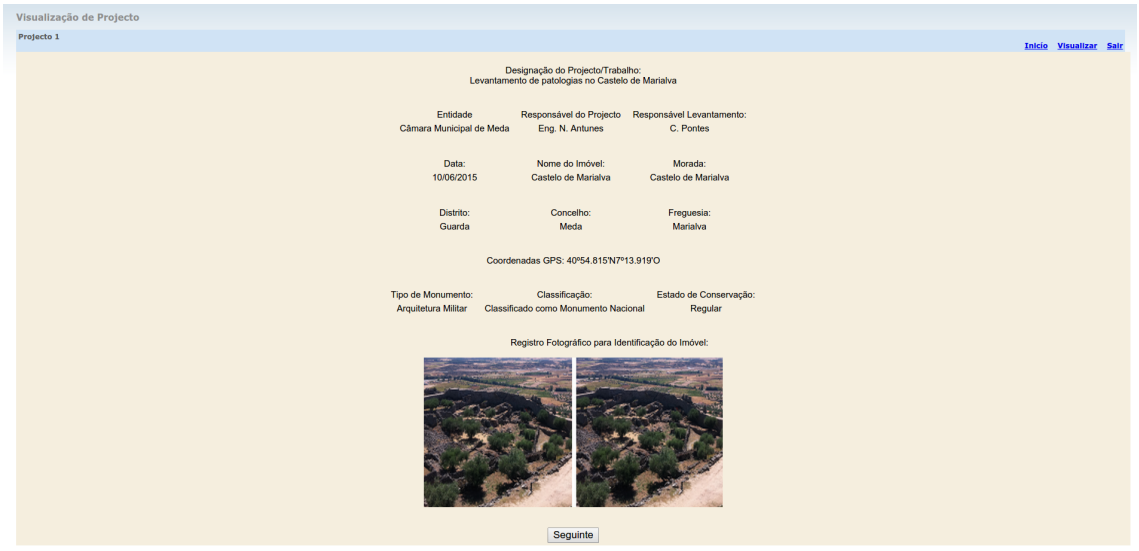


Figura 08.06 – Layout da página de visualização dos dados gerais de um projeto

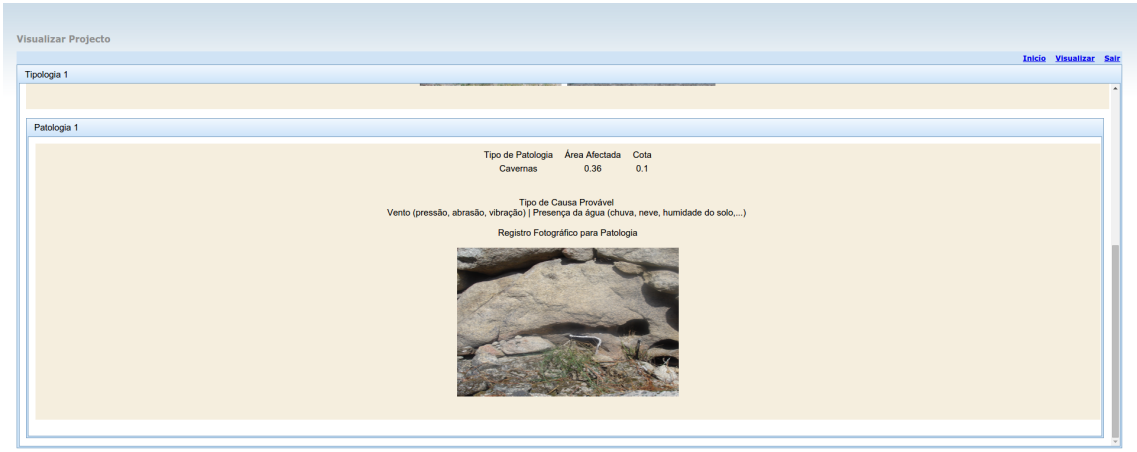


Figura 08.07 – Layout da página de visualização dos dados específicos de uma patologia



Número do Ensaio de MS	Valor de R	Número do Ensaio de PW	Compressão Uniaxial	Número de Ensaio VU	Velocidade Ultra Som
MS1	35	PW4	80	----	----
MS3	25	PW5	70	VU1	1200
MS5	40	PW7	98	VU3	2500
MS8	30	----	----	VU7	2100
MS4	30	PW8	80	VU9	2000
MS9	27	PW10	75	VU11	1900

Figura 08.08 – Layout da página de visualização dos resultados dos ensaios elaborados

9 – Conclusões mais relevantes e sugestões para estudos futuros

9.1 – Conclusões

Na sequência dos estudos realizados e apresentados ao longo deste trabalho, enunciam-se agora, de forma sumária, as conclusões tidas por mais relevantes:

- As estimativas apresentadas pela Associação de Empresas de Construção, Obras Públicas e Serviços (AECOPS), em 2009, no que diz respeito ao mercado potencial de reabilitação, o de Património Monumental, encontra-se em trigésimo lugar em cerca de 19% do total dos aproximadamente 160 mil milhões de euros do mercado potencial. Assim, a aposta em estudos e a implementação de novos sistemas que auxiliem a concretização desta estimativa será uma mais valia para o desenvolvimento económico das regiões onde se inserem, bem como para o desenvolvimento do próprio país;
- As patologias existentes num dado edifício tiveram, com certeza, uma origem ou uma causa que, para se intervir de forma a conseguir parar ou pelo menos minimizar essa ação, terá que se conhecer, obrigatoriamente, os mecanismos e agentes associados ao decaimento dos materiais pétreos. Pretendeu-se demonstrar quais os principais mecanismos e agentes causadores do decaimento das rochas nos monumentos e a forma como estes atuam nos edifícios antigos;
- Em várias áreas da construção existe uma simbologia própria e normalizada, de extrema importância, para o bom entendimento projetual entre os diversos intervenientes. Na conservação de edifícios antigos, julgou-se necessário implementar uma linguagem comum entre os vários profissionais da área, pelo que, foi criada uma simbologia gráfica para cada tipo de patologia descrita, que já foi utilizada no decorrer deste trabalho, reconhecendo-se a importância de posteriormente, ser implementada nos diversos projetos da especialidade;
- Por forma a se intervir corretamente, após a análise e caracterização das patologias existentes, foram descritos os principais métodos de conservação e restauro de pedras em edifícios antigos. Esta descrição teve como base diversos autores/investigadores da área e pode ser um grande apoio aos projetistas que, de uma forma fácil e resumida, podem consultar e escolher a metodologia que melhor se adequa ao tipo de problemas que têm que dar resposta;

- A elaboração de ensaios "*in situ*" não destrutivos são de extrema importância, uma vez que, neste tipo de estruturas, muito raramente, é possível a recolha de amostras para se elaborarem ensaios laboratoriais. Nos ensaios realizados "*in situ*", podemos concluir que os resultados obtidos com recurso ao Martelo de Schmidt (MS), geram valores estimados à compressão uniaxial sempre superiores aos obtidos através da Pistola de Windsor (PW), independentemente do tipo de rocha ou do seu grau de alteração. No que diz respeito à correlação entre os valores estimados do MS e os valores do ensaio de velocidade de ultra-sons ("*in-situ*"), verifica-se existir uma boa correlação com um valor de 0,9541. Relacionando os valores médios obtidos através do ensaio de resistência à compressão uniaxial para cada tipo de amostra, com os valores médios estimados obtidos em material do mesmo tipo através do Martelo de Schmidt, verifica-se que para todas as amostras, os valores estimados de resistência à compressão resultantes do ensaio com recurso ao Martelo de Schmidt, são superiores aos valores do ensaio de resistência à compressão uniaxial realizado em laboratório. Podemos concluir que, embora neste tipo de edifícios, muitas da vezes, os únicos ensaios possíveis de elaborar sejam "*in situ*", estes, como se verifica, apresentam sempre valores estimados superiores aos reais, para este tipo de rochas;
- A utilização de uma aplicação "CollPath", no sentido de reduzir a subjetividade dos levantamentos realizados em campo torna a recolha de dados um processo mais objetivo e intuitivo, independentemente da visão ou sensibilidade do técnico que o realiza. Permite elaborar pequenos cálculos, gerar tabelas e gráficos, necessários para uma boa interpretação dos dados recolhidos. Esta aplicação, constitui-se como uma ferramenta bastante útil, para a correta elaboração de um projeto de execução, minimizando os "típicos" erros de levantamento que têm como consequência a inviabilização da execução do mesmo, trazendo danos irreversíveis para a edificação, além dos custos económicos inerentes a um projeto desajustado à realidade existente.

9.2 – Sugestões para estudos futuros

Tendo como base a temática estudada neste trabalho e as conclusões obtidas, referem-se agora, algumas sugestões para desenvolvimento futuro:

- Pelas diferenças obtidas entre os valores estimados dos ensaios "*in situ*", principalmente no ensaio com recurso ao Martelo de Schimdt e os valores resultantes dos ensaios laboratoriais, sugere-se a utilização e/ou o estudo de outros tipos de ensaios, de modo a serem comparados com os obtidos neste trabalho, podendo ser aplicados a este ou noutro tipo de rochas;
- Melhorar a aplicação "CollPath", no que diz respeito aos layouts de apresentação e inclusão de outros recursos, tais como: Edição de desenhos vetoriais na aplicação móvel; adição de figuras ilustrativas de cada patologia e inserção de propostas e técnicas de intervenção, mediante a análise dos resultados obtidos.
- Junção desta metodologia, com a elaborada em 2008 (Aplicação dos SIG's na análise das patologias da pedra natural em monumentos de Arquitetura Militar da Beira Interior), criando-se apenas uma de maior âmbito de análise, intervenção e resultados.
- Incluir estimativas orçamentais para os diferentes trabalhos a realizar, de forma a se ter um valor estimado de intervenção após a deteção das situações patológicas existentes.

Bibliografia

AECOPS (Associação de Empresas de Construção Obras Públicas e Serviços), 2009. O Mercado da Reabilitação - Enquadramento, Relevância e Perspectivas, Lisboa, AECOPS.

Almeida, C. M. N. V. 2013. Paredes de Alvenaria do Porto. Tipificação e Caracterização Experimental, Tese de Doutoramento, FEUP.

Aires-Barros, L. 1991. Os Monumentos e a Doença da Pedra, Colóquio, Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian.

Aires-Barros, L. 2001. As rochas dos monumentos portugueses - tipologias e patologias, Lisboa, Instituto Português do Património Arquitectónico.

Aires-Barros, L. 2006. A Engenharia na Pedra Natural, Lisboa, Ingenium, Revista da Ordem dos Engenheiros.

Appleton, J. 2011. Reabilitação de Edifícios Antigos - Patologias e Tecnologias de Intervenção (2.ª Edição), Lisboa, Orion

Araújo, A. B. 2003. Os Materiais Pétreos no Restauro, traduzido do original em italiano em: http://maxpages.com/achille32.

Aufmuth, R. E. 1974. Site engineering indexing of rock, Am. Soc. Test Mater, Spec. Tech.

Barroca, M. J. 2000. Beira Interior - História e Património, Actas das I Jornadas de Património da Beira Interior, Guarda, Câmara Municipal da Guarda.

Binda, L. 1998. Sperimentazione di tecniche di intervento di miglioramento strutturale su edifici in muratura nei centri storici: caratterizzazione meccanica delle murature in pietra della Lunigiana e verifica sperimentale dell'efficienza delle tecniche d'intervento per la riparazione ed il consolidamento degli edifici in muratura, Milão, Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politécnico di Milano.

Binda, L.; Penazzi, D. 2000. Classification of masonry cross sections and of typologies of historic buildings. Book of Commissione RILEM MMM.

Binda, L. SAISI, A. 2001. State of the Art of Research on Historic Structures in Italy, Politecnico of Milan.

Brady, B. H. G. & Brown E.T. 2002. Rock Mechanics For underground mining - second edition, Kluwer Academic Publishers.

Bibliografia (cont.)

Branco, J. P. 1981. Manual do Pedreiro, Memória n.º 3, Lisboa, LNEC.

Branco J. P., Vilhena, A., Paiva, J. A. V. 2013. Avaliação do estado de conservação de edifícios - Desenvolvimentos recentes e linhas de investigação futura, LNEC.

BS 1881 - 203. 1986. Testing concrete. Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete, BSI

Castro, E. D. 1984. A Conservação de Monumentos em Pedra, Memória n.º 627, Lisboa, LNEC.

Castro, E. D. 2001. Tratamento de Conservação das Pedras em Monumentos, Lisboa, LNEC.

Castro, E. D. CRAVO, M. R. 1987. A civilização e a deterioração dos monumentos de pedra, Memória n.º 689, Lisboa, LNEC.

Cavaleiro, V. M. P. 2001. Condicionantes Geotécnicas à expansão do Núcleo Urbano da Covilhã, Tese de Doutoramento - Volume I, Universidade da Beira Interior.

Cóias, V. 2006. Inspecção e Ensaios na Reabilitação de Edifícios, Lisboa, IST Press.

Cóias, V. 2007. Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos, Lisboa, Argumentum.

Comité Français de Mécanique des Roches. 2004. Manuel de mécanique des roches, Teme 2: les applications,France, Ecole des Mines de Paris.

Conceição, M. 1992. Castelo de Marialva - Intervenções Realizadas [Online], Lisboa, SIPA, Available: http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=5931 [Accessed 24/09/2011 2011].

Delgado, V. P. 2013. Uniformização dos métodos de avaliação do estado de conservação de edifícios definidos no quadro legal português, Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa.

DIGITAL, D. 2006. Mapa da Aldeia [Online], Freguesia de Marialva. Available: http://www.marialva.pt/marialva/mapa.asp [Accessed 24/09/2011].

Dionisio, A., AIRES-BARROS, L. BASTO, M. J. 2009. A degradação das rochas do património cultural construído: o caso das rochas carbonatadas [Online]. Available: http://www.spq.pt/boletim/docs/BoletimSPQ_093_061_09.pdf.

Bibliografia (cont.)

ENGEOL 2015. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Number 1, February 2015, Spring.

ENGEOL 2015. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Number 2, May 2015, Spring.

ENGEOL 2015. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Number 3, August 2015, Spring.

ENGEOL 2015. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Number 4, November 2015, Spring.

Feilden, B. 1982. Conservation of historic building, Butterwortd.

Franklin J. & Chandra R. 1072. Slake-Durability teste, Int. J. Rock Mech, Min. Sci. 9.

Freitas, V. P. 2012. Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos, OERN.

Gamble J. C. 1971. Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks, Phd Thesis, University of Tlinois.

GNDT, G. N. P. L. D. D. T. Danno sismico e vulnerabilità delle chiese dell'Umbria, Itália: CD-ROM.

Godos, V. S. 1995. Manual de Rocas Ornamentales - Prospection, explotación, elaboración y colocación, Madrid, Entorno Grafico S.L.

Gonzalez de Vallejo et al. 2002. Ingenieria Geológica, Madrid, Prentice Hall.

Gonçalves, T. D. 2003. Patologias e Reabilitação das Construções. Edifícios Antigos. Paredes. Salitre, Relatório 55/03 – NCMC, Lisboa, LNEC.

Henriques, F. M. A. 2005. A Conservação do Património Histórico Edificado, Memória N.º 775, Lisboa, LNEC.

Henriques, F. M. A., RODRIGUES, J. D., AIRES-BARROS, L. PROENÇA, N. 2005. Materiais Pétreos e Similares – Terminologia das formas de alteração e degradação, Lisboa, LNEC.

ICOMOS-ISCS 2008. Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns, International Council on Monuments and Sites – International Scientific Committee for Stones, Monuments and Sites XV.

Bibliografia (cont.)

ISRM 1978. Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials , Int. J. Rock Mechanics Min. Sci. & Geomech., Abstracts, Vol. 16.

ISRM 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring:1974-2006, Compilation arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey.

Ladeira, L. F. 1996. Técnicas de Análise em Estabilidade de Taludes, Curso de estabilidade de taludes, Módulo 1, Universidade de Aveiro.

Lanzinha, J. C. G. 2006. Reabilitação de edifícios - Metodologia de Diagnóstico e Intervenção, Tese de Doutoramento, Universidade da Beira Interior.

Lanzinha, J. N. F. 2014. Inspeção Técnica de Edifícios Antigos, Dissertação de Mestrado, FEUP.

LNEC 2011, Simpósio Património em Construção - Contextos para a sua preservação, Lisboa, LNEC.

Lourenço, P. 2008. Reabilitação de Edifícios em Pedra, Planetacad estudo, Companhia de Arquitectura e Design.

Lourenço, P. B., PAGAIMO, F., JÚLIO, E. 2002. Caracterização das paredes de alvenaria da vila de Tentúgal, Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas (RPEE), 51.

Moura, T. J. M. 2014. Metodologia de avaliação do estado de conservação do edificado, Dissertações de mestrado, Universidade de Aveiro.

Monteiro, A. M., Paixão, A. C. 2003. Estação Arqueológica de Tróia - plano de valorização, Lisboa, Património Estudos - 4.

Neto, M. J. B. 2002. Carta de Cracóvia 2000 - Os princípios de restauro para uma nova Europa, Património Estudos - 3, Lisboa, IPPAR.

NSI. 2004. Natural Stone Institute. Available: http://www.sslg.co.uk/NSInews8.html [Accessed 24/3/2010.

Pedro, J. B., Vilhena, A., Paiva, J. V., Pinho, A. 2011. Métodos de avaliação do estado de conservação de edifícios desenvolvidas no LNEC, ERU - Comunicações - Em Congressos Científicos Internacionais.

Bibliografia (cont.)

Pereira, C. M. S. 2007. Compartimentação de maciços pela técnica de amostragem linear: o caso da pedreira da Mimosa, Tese de Mestrado, Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

Pereira, V. Martins, J. G. 2005. Sebenta - Materiais e Técnicas Tradicionais de Construção – Série Reabilitação - 1.ª Edição, Lisboa, Universidade Fernando Pessoa.

Pinho, F. F. S. 1996. Sistematização do Estudo sobre Paredes de Edifícios Antigos – Análise de Casos, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico.

Pinto, A. P. F. 1997. Conservação de Pedras Graníticas - Estudo da Acção de Hidrófugos, Lisboa, LNEC.

Rocha, M. 2013. Mecânica das Rochas, Lisboa, LNEC

Roque, J. C. A. 2002. Reabilitação Estrutural de Paredes Antigas de Alvenaria, Tese de Mestrado, Universidade do Minho.

Santos, A. B. 2013. Identificação biológica e aplicação de biocidas na população microbiana que forma os biofilmes de alguns monumentos históricos da Bahia, Universidade Federal da Bahia.

Santos, C. F. C. 2012. Manutenção das soluções construtivas de edifícios com valor patrimonial : elemento fonte de manutenção: pavimentos, Dissertação de Mestrado, FEUP.

Santos, P. 2008. A Reabilitação Estrutural de Património Construído, ICT informação técnica – Estruturas ITES 13, Lisboa, LNEC.

Silva, J. M. 2002. Alvenarias não Estruturais - Patologias e Estratégias de Reabilitação, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto, P.B. Lourenço H. Sousa.

SIPA. 2011. Sistema de Informação para o Património Arquitectónico. Available: http:// www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=5931 [Accessed 24/09/2011.

Smith, B. J. Mcgreevy, J. P. 2004. Degradação da pedra urbana e deposição ácida, Queen's University, Belfast: traduzido do original por António de Borja Araújo, eng. Civil I.S.T., Fevereiro de 2004.

Torraca, G. 1976. Treatment of Stone in Monuments. A Review of Priciples and Processes, The Conservation os Stone, Bologna, Centro per la Conservazione delle Sculture All'Aperto.

Bibliografia (cont.)

Ulusay, R. & Hudson, J.A. 2007. The complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974 – 2006" – Complitation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey.

WIKIPÉDIA. 2010. Enciclopédia Livre. Available: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nt-se-guarda1.jpg [Accessed 26/02/2010.

Wyllie, D. C. 1992. Foundations on Rock, London, Chapman & Hall.

Vilhena, A. 2011. Method for building's maintenance condition assessment. Analysis and contributions for its improvement, tese de doutoramento, Universidade de Évora.

ANEXOS

Anexo I - Valores estimados da resistência à compressão uniaxial (Martelo de Schimdt)

Martelo de Schmidt
Registos e Medições

Ensaio (N.º)	Dureza (R)	Valor estimado da resistência à compressão uniaxial (MPa)	Localização	Observações
1	33,8	65	Arco no interior "Casa da Câmaral"	Juntas argamassadas
2	44,4	108	Paramento "Casa da Câmaral" / Oeste	
3	38,4	75	Arco no interior "Casa da Câmaral"	Equipamento na vertical
4	25,0	43	Paramento "Casa da Câmaral" / Norte	Patologia: desegregação granular
5	31,8	58	Muralha envolvente da torre / Oeste / Pano exterior	Patologia: fratura
6	54,8	175	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior	
7	48,0	130	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior	
8	34,8	67	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior	
9	25,8	46	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior	Patologia: fratura
10	37,2	73	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior	
11	45,2	110	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior	
12	33,6	65	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior	
13	40,4	85	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior	
14	37,4	73	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior	Patologia: fratura
15	45,2	110	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior	
16	44,8	110	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano interior	
17	41,6	95	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano interior	
18	50,8	142	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano interior	Patologia: fratura
19	51,8	148	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano interior	
20	52,2	148	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano interior	Patologia: Placas
21	44,8	110	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano interior	
22	41,2	90	Muralha envolvente da torre / Oeste / Pano Interior	
23	37,2	73	Muralha envolvente da torre / Oeste / Pano Interior	Patologia: fratura
24	39,0	80	Muralha envolvente da torre / Este/Sul / Pano interior	
25	53,4	160	Torre de menagem / Sul	
26	50,4	138	Torre de menagem / Sul	
27	48,2	130	Torre de menagem / Sul	
28	46,0	115	Torre de menagem / Sul	Patologia: alteração cromatica
29	51,6	148	Torre de menagem / Sul	
30	41,2	90	Torre de menagem / Sul	
31	48,4	130	Torre de menagem / Sul	
32	57,8	200	Torre de menagem / Sul	
33	53,4	160	Torre de menagem / Sul	Patologia: alteração cromática + fratura
34	41,4	90	Torre de menagem / Este	
35	46,6	122	Torre de menagem / Este	
36	45,6	115	Torre de menagem / Este	
37	39,8	85	Torre de menagem / Este	
38	44,2	108	Torre de menagem / Este	
39	44,4	108	Torre de menagem / Este	Patologia: Placas
40	46,4	115	Torre de menagem / Este	Patologia: Placas
41	46,6	122	Torre de menagem / Norte	
42	39,2	80	Torre de menagem / Norte	
43	46,6	122	Torre de menagem / Norte	
44	49,6	138	Torre de menagem / Norte	
45	40,0	85	Torre de menagem / Oeste	
46	42,2	95	Torre de menagem / Oeste	
47	47,4	122	Torre de menagem / Oeste	
48	50,4	138	Torre de menagem / Oeste	
49	51,8	148	Torre de menagem / Oeste	
50	53,2	160	Torre de menagem / Oeste	Silhares de reconstrução
51	55,8	180	Torre de menagem / Oeste	Silhares de reconstrução
52	41,6	95	Igreja de S. Tiago / Oeste	
53	40,8	90	Igreja de S. Tiago / Oeste	
54	32,2	58	Igreja de S. Tiago / Este	
55	38,8	80	Igreja de S. Tiago / Este	
56	41,4	90	Igreja de S. Tiago / Este	
57	38,4	76	Capela Sr. dos Passos / Este	
58	46,2	115	Casa da camara	Ombreira
59	41,6	95	Casa da camara	Ombreira
60	43,8	108	Arco no interior "Casa da Câmaral"	
61	36,2	70	Arco no interior "Casa da Câmaral"	
62	42,8	100	Vão da muralha envolvente à torre	Ombreira
63	47,0	122	Vão da muralha envolvente à torre	Ombreira

Anexo II - Registo dos resultados do Martelo de Schimdt e o grau de alteração

Martelo de Schmidt
Registos e Medições

Ensaio (N.º)	Dureza (R)	**Grau de Alteração**	Localização
1	33,8	**W2**	Arco no interior "Casa da Câmaral"
2	44,4	**W1**	Paramento "Casa da Câmaral" / Oeste
3	38,4	**W2**	Arco no interior "Casa da Câmaral"
4	25,0	**W3**	Paramento "Casa da Câmaral" / Norte
5	31,8	**W2**	Muralha envolvente da torre / Oeste / Pano exterior
6	54,8	**W1**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior
7	48,0	**W1**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior
8	34,8	**W2**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior
9	25,8	**W3**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior
10	37,2	**W2**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior
11	45,2	**W1**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior
12	33,6	**W2**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior
13	40,4	**W1**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior
14	37,4	**W2**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior
15	45,2	**W1**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior
16	44,8	**W1**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano interior
17	41,6	**W1**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano interior
18	50,8	**W1**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano interior
19	51,8	**W1**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano interior
20	52,2	**W1**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano interior
21	44,8	**W1**	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano interior
22	41,2	**W1**	Muralha envolvente da torre / Oeste / Pano Interior
23	37,2	**W2**	Muralha envolvente da torre / Oeste / Pano Interior
24	39,0	**W2**	Muralha envolvente da torre / Este/Sul / Pano interior
25	53,4	**W1**	Torre de menagem / Sul
26	50,4	**W1**	Torre de menagem / Sul
27	48,2	**W1**	Torre de menagem / Sul
28	46,0	**W1**	Torre de menagem / Sul
29	51,6	**W1**	Torre de menagem / Sul
30	41,2	**W1**	Torre de menagem / Sul
31	48,4	**W1**	Torre de menagem / Sul
32	57,8	**W1**	Torre de menagem / Sul
33	53,4	**W1**	Torre de menagem / Sul
34	41,4	**W1**	Torre de menagem / Este
35	46,6	**W1**	Torre de menagem / Este
36	45,6	**W1**	Torre de menagem / Este
37	39,8	**W1**	Torre de menagem / Este
38	44,2	**W1**	Torre de menagem / Este
39	44,4	**W1**	Torre de menagem / Este
40	46,4	**W1**	Torre de menagem / Este
41	46,6	**W1**	Torre de menagem / Norte
42	39,2	**W2**	Torre de menagem / Norte
43	46,6	**W1**	Torre de menagem / Norte
44	49,6	**W1**	Torre de menagem / Norte
45	40,0	**W1**	Torre de menagem / Oeste
46	42,2	**W1**	Torre de menagem / Oeste
47	47,4	**W1**	Torre de menagem / Oeste
48	50,4	**W1**	Torre de menagem / Oeste
49	51,8	**W1**	Torre de menagem / Oeste
50	53,2	**W1**	Torre de menagem / Oeste
51	55,8	**W1**	Torre de menagem / Oeste
52	41,6	**W1**	Igreja de S. Tiago / Oeste
53	40,8	**W1**	Igreja de S. Tiago / Oeste
54	32,2	**W2**	Igreja de S. Tiago / Este
55	38,8	**W2**	Igreja de S. Tiago / Este
56	41,4	**W1**	Igreja de S. Tiago / Este
57	38,4	**W2**	Capela Sr. dos Passos / Este
58	46,2	**W1**	Casa da camara
59	41,6	**W1**	Casa da camara
60	43,8	**W1**	Arco no interior "Casa da Câmaral"
61	36,2	**W2**	Arco no interior "Casa da Câmaral"
62	42,8	**W1**	Vão da muralha envolvente à torre
63	47,0	**W1**	Vão da muralha envolvente à torre

Anexo III - Registo dos valores estimados da resistência à compressão uniaxial (Pistola de Windsor)

Pistola de Windsor

Registos e Medições

Ensaio (N.º)	Dureza (R)			Penetração (cm)	Valores estimados de resistência à compressão uniaxial (MPa)	Localização
1	3,5	+	1,6	5,10	29,87	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior
2	3,5	+	0,3	3,80	59,29	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior
3	3,5	-	0,4	3,10	95,27	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior
4	3,5	+	0,7	4,20	46,95	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano exterior
5	3,5	+	0,4	3,90	55,80	Muralha envolvente da torre / Norte / Pano interior
6	3,5	+	0,6	4,10	49,67	Muralha envolvente da torre / Oeste / Pano interior
7	3,5	+	0,9	4,40	42,13	Muralha envolvente da torre / Este / Pano interior
8	3,5	-	0,5	3,00	102,84	Torre de menagem / Oeste
9	3,5	+	0,5	4,00	52,61	Torre de menagem / Oeste
10	3,5	-	0,4	3,10	95,27	Torre de menagem / Oeste
11	3,5	+	0,6	4,10	49,67	Torre de menagem / Oeste
12	3,5	-	0,4	3,10	95,27	Torre de menagem / Oeste
13	3,5	+	0,2	3,70	63,09	Torre de menagem / Oeste
14	3,5	+	0,4	3,90	55,80	Torre de menagem / Este
15	3,5	+	0,3	3,80	59,29	Torre de menagem / Este
16	3,5	+	0,4	3,90	55,80	Torre de menagem / Este
17	3,5	-	0,2	3,30	82,36	Torre de menagem / Sul
18	3,5	-	0,3	3,20	88,48	Torre de menagem / Sul
19	3,5	+	0,3	3,80	59,29	Torre de menagem / Sul
20	3,5	+	0,5	4,00	52,61	Torre de menagem / Norte

Anexo IV - **Valores da porosidade aberta, absorção de água e densidade aparente das diferentes amostras**

Amostra 1

Provete	Massa provete imerso (m_1) (gramas)	Massa provete saturado (m_2) (gramas)	Massa provete seco (m_3) (gramas)	Temperatura ambiente (°C)	Densidade	Absorção de água (%)	Porosidade Aberta (%)	Densidade aparente seca (kN/m3)
A1-1	389,0	648,6	628,6	17,2	0,999	3,1817	7,7042	24,1900
A1-2	389,0	643,4	623,3	17,4	0,999	3,2248	7,9009	24,4763
A1-4	385,8	642,6	622,8	17,2	0,999	3,1792	7,7103	24,2281
A1-5	379,3	631,4	612,0	17,2	0,999	3,1699	7,6954	24,2518
A1-6	394,4	655,9	636,2	17,2	0,999	3,0965	7,5335	24,3045
					Mínimo	3,0965	7,5335	24,1900
					Máximo	3,2248	7,9009	24,4763
					Média	3,1704	7,7088	24,2901
					Des. Padrão	0,0464	0,1303	0,1120
					% de Desvio	0,0146	0,0169	0,0046

Amostra 2

Provete	Massa provete imerso (m_1) (gramas)	Massa provete saturado (m_2) (gramas)	Massa provete seco (m_3) (gramas)	Temperatura ambiente (°C)	Densidade	Absorção de água (%)	Porosidade Aberta (%)	Densidade aparente seca (kN/m3)
A2-1	514,7	838,3	824,7	17,4	0,999	1,6491	4,2027	25,4597
A2-2	512,8	834,1	821,4	17,4	0,999	1,5461	3,9527	25,5393
A2-3	510,2	829,7	817,2	17,4	0,999	1,5296	3,9124	25,5519
A2-4	513,6	836,8	823,7	17,4	0,999	1,5904	4,0532	25,4603
A2-5	514,7	837,8	824,0	17,4	0,999	1,6748	4,2711	25,4774
A2-6	515,5	838,9	825,7	17,4	0,999	1,6023	4,0909	25,5054
A2-7	513,6	835,5	822,2	17,4	0,999	1,6176	4,1317	25,5166
A2-8	513,0	834,7	821,6	17,4	0,999	1,5944	4,0721	25,5138
A2-9	510,1	829,3	816,3	17,4	0,999	1,5926	4,0727	25,5477
A2-10	504,2	826,0	812,6	17,2	0,999	1,6490	4,1641	25,2265
A2-11	507,5	829,3	815,8	17,2	0,999	1,6548	4,1952	25,3258
					Mínimo	1,5296	3,9124	25,2265
					Máximo	1,6748	4,2711	25,5519
					Média	1,6092	4,1017	25,4658
					Des. Padrão	0,0456	0,1071	0,1015
					% de Desvio	0,0284	0,0261	0,0040

Amostra 3

Provete	Massa provete imerso (m_1) (gramas)	Massa provete saturado (m_2) (gramas)	Massa provete seco (m_3) (gramas)	Temperatura ambiente (°C)	Densidade	Absorção de água (%)	Porosidade Aberta (%)	Densidade aparente seca (kN/m3)
A3-1	513,5	835,0	821,0	17,4	0,999	1,7052	4,3546	25,5110
A3-2	411,1	670,2	657,9	17,4	0,999	1,8696	4,7472	25,3663
A3-3	509,0	834,5	818,5	17,2	0,999	1,9548	4,9155	25,1208
A3-4	510,4	832,2	816,8	17,4	0,999	1,8854	4,7856	25,3568
A3-5	444,7	727,7	715,7	17,2	0,999	1,6767	4,2403	25,2645
					Mínimo	1,6767	4,2403	25,1208
					Máximo	1,9548	4,9155	25,5110
					Média	1,8183	4,6086	25,3239
					Des. Padrão	0,1210	0,2936	0,1438
					% de Desvio	0,0666	0,0637	0,0057

Amostra 4

Provete	Massa provete imerso (m_1) (gramas)	Massa provete saturado (m_2) (gramas)	Massa provete seco (m_3) (gramas)	Temperatura ambiente (°C)	Densidade	Absorção de água (%)	Porosidade Aberta (%)	Densidade aparente seca (kN/m3)
A4-1	503,6	820,2	811,5	17,2	0,999	1,0721	2,7479	25,6061
A4-2	499,6	812,7	804,0	17,2	0,999	1,0821	2,7787	25,6530
A4-3	508,1	828,0	819,2	17,2	0,999	1,0742	2,7509	25,5824
A4-4	515,0	836,9	827,8	17,2	0,999	1,0993	2,8270	25,6903
A4-5	517,2	840,8	831,4	17,2	0,999	1,1306	2,9048	25,6665
A4-6	521,0	844,6	833,9	17,4	0,999	1,2831	3,3066	25,7437
A4-7	521,5	845,4	834,9	17,4	0,999	1,2576	3,2417	25,7507
A4-9	518,9	844,7	835,8	17,2	0,999	1,0648	2,7317	25,6281
A4-10	521,4	845,5	834,9	17,4	0,999	1,2696	3,2706	25,7348
A4-11	525,3	850,2	840,5	17,4	0,999	1,1541	2,9855	25,8436
A4-12	506,9	825,7	812,0	17,4	0,999	1,6872	4,2974	25,4450
A4-13	504,5	822,5	813,9	17,2	0,999	1,2566	2,7044	25,5687
A4-14	509,6	828,0	819,0	17,2	0,999	1,0989	2,8266	25,6966
A4-15	508,1	826,4	816,9	17,2	0,999	1,1629	2,9846	25,6388
					Mínimo	1,0648	2,7044	25,4450
					Máximo	1,6872	4,2974	25,8436
					Média	1,1924	3,0256	25,6606
					Des. Padrão	0,1636	0,4209	0,0968
					% de Desvio	0,1372	0,1391	0,0038

Amostra 5

Provete	Massa provete imerso (m_1) (gramas)	Massa provete saturado (m_2) (gramas)	Massa provete seco (m_3) (gramas)	Temperatura ambiente (°C)	Densidade	Absorção de água (%)	Porosidade Aberta (%)	Densidade aparente seca (kN/m3)
A5-1	287,0	471,6	462,6	19,0	0,998	1,9455	4,8754	25,0095
A5-2	287,9	472,7	463,9	19,0	0,998	1,8970	4,7619	25,0526
A5-3	288,4	474,4	465,5	19,0	0,998	1,9119	4,7849	24,9768
A5-4	286,3	469,7	460,8	19,1	0,998	1,9314	4,8528	25,0752
A5-5	288,3	472,8	463,5	19,1	0,998	2,0065	5,0407	25,0717
A5-6	287,3	472,4	463,0	19,1	0,998	2,0302	5,0783	24,9635
A5-7	284,9	467,9	458,5	19,1	0,998	2,0502	5,1366	25,0045
A5-8	287,4	472,9	463,7	19,1	0,998	1,9840	4,9596	24,9473
A5-9	285,7	472,4	462,3	19,1	0,998	1,8847	5,0097	24,9121
A5-10	286,6	472,9	463,5	19,1	0,998	2,0280	5,0456	24,8295
A5-11	287,6	472,6	463,6	19,1	0,998	1,9413	4,8649	25,0093
A5-12	286,7	472,3	463,1	19,1	0,998	1,9866	4,9569	24,9016
A5-13	286,1	470,1	461,3	19,1	0,998	1,9077	4,7826	25,0205
					Mínimo	1,8847	4,7619	24,8295
					Máximo	2,0502	5,1366	25,0752
					Média	1,9619	4,9346	24,9826
					Des. Padrão	0,0556	0,1232	0,0715
					% de Desvio	0,0284	0,0250	0,0029

Amostra 6

Provete	Massa provete imerso (m_1) (gramas)	Massa provete saturado (m_2) (gramas)	Massa provete seco (m_3) (gramas)	Temperatura ambiente (°C)	Densidade	Absorção de água (%)	Porosidade Aberta (%)	Densidade aparente seca (kN/m3)
A6-1	282,7	464,8	455,1	19,2	0,998	2,1314	5,3267	24,9418
A6-2	285,7	469,7	460,1	19,2	0,998	2,0865	5,2174	24,9554
A6-3	282,9	465,9	455,5	19,2	0,998	2,2832	5,6831	24,8409
A6-4	285,1	468,5	459,0	19,2	0,998	2,0697	5,1799	24,9772
A6-5	284,0	467,6	457,1	19,2	0,998	2,2971	5,7190	24,8467
					Mínimo	2,0697	5,1799	24,8409
					Máximo	2,2971	5,7190	24,9772
					Média	2,1736	5,4252	24,9124
					Des. Padrão	0,1089	0,2578	0,0639
					% de Desvio	0,0501	0,0475	0,0026

Amostra 7

Provete	Massa provete imerso (m_1) (gramas)	Massa provete saturado (m_2) (gramas)	Massa provete seco (m_3) (gramas)	Temperatura ambiente (°C)	Densidade	Absorção de água (%)	Porosidade Aberta (%)	Densidade aparente seca (kN/m3)
A7-1	300,5	484,2	481,9	19,9	0,998	0,4773	1,2520	26,1805
A7-2	299,7	484,6	481,6	19,9	0,998	0,6229	1,6225	25,9944
A7-3	297,6	481,6	477,9	19,9	0,998	0,7742	2,0109	25,9209
A7-4	295,6	478,7	474,8	19,9	0,998	0,8214	2,1300	25,8793
A7-5	291,4	472,7	468,6	19,9	0,998	0,8749	2,2614	25,7950
A7-6	297,2	480,3	477,2	19,9	0,998	0,6496	1,6931	26,0101
A7-7	296,9	480,8	476,9	19,9	0,998	0,8178	2,1207	25,8807
A7-8	298,0	481,4	478,6	19,9	0,998	0,5850	1,5267	26,0438
A7-9	299,4	483,8	480,8	19,9	0,998	0,6240	1,6269	26,0216
A7-10	295,6	479,7	475,5	19,9	0,998	0,8833	2,2814	25,7767
A7-11	301,2	485,9	483,4	19,9	0,998	0,5172	1,3535	26,1198
A7-12	296,2	479,7	476,9	19,9	0,998	0,5871	1,5259	25,9371
A7-13	296,9	481,4	478,2	19,9	0,998	0,6692	1,7344	25,8669
A7-14	376,3	612,5	607,7	19,2	0,998	0,7899	2,0322	25,6767
A7-15	376,8	616,4	611,4	19,2	0,998	0,8178	2,0868	25,4665
A7-16	376,9	613,3	607,9	19,2	0,998	0,8883	2,2843	25,6635
A7-17	379,3	615,5	610,7	19,2	0,998	0,7860	2,0322	25,8035
A7-18	378,8	616,1	610,3	19,2	0,998	0,8504	2,0442	25,6671
					Mínimo	0,4773	1,2520	25,4665
					Máximo	0,8883	2,2843	26,1805
					Média	0,7242	1,8677	25,8724
					Des. Padrão	0,1327	0,3280	0,1810
					% de Desvio	0,1832	0,1756	0,0070

Anexo V - Valores de velocidade de propagação dos ultra-sons nas diferentes amostras

Amostra 1

Provete	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Volume (cm3)	Leitura de Ultra-Sons seco (µ.s)	Velocidade Ultra-Sons seco (m/s)
A1-1	110	54	251,92	92,7	1186,62
A1-2	110	54	251,92	84,9	1295,64
A1-4	110	54	251,92	101,7	1081,61
A1-5	110	54	251,92	100,3	1096,71
A1-6	110	54	251,92	106,3	1034,81
Média				**97,2**	**1139,08**

Amostra 2

Provete	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Volume (cm3)	Leitura de Ultra-Sons seco (µ.s)	Velocidade Ultra-Sons seco (m/s)
A2-1	139	54	318,34	93,2	1491,42
A2-2	139	54	318,34	86,5	1606,94
A2-3	139	54	318,34	95,3	1458,55
A2-4	139	54	318,34	95,6	1453,97
A2-5	139	54	318,34	89,5	1553,07
A2-6	139	54	318,34	86,5	1606,94
A2-7	139	54	318,34	90,2	1541,02
A2-8	139	54	318,34	89,0	1561,80
A2-9	139	54	318,34	88,4	1572,40
A2-10	139	54	318,34	91,9	1512,51
A2-11	139	54	318,34	97,3	1428,57
Média				**91,2**	**1526,11**

Amostra 3

Provete	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Volume (cm3)	Leitura de Ultra-Sons seco (µ.s)	Velocidade Ultra-Sons seco (m/s)
A3-1	139	54	318,34	106,4	1306,39
A3-3	139	54	318,34	125,0	1112,00
A3-4	139	54	318,34	121,5	1144,03
Média				**117,6**	**1187,47**

A3-2	110	54	251,92	83,6	1315,79

Amostra 4

Provete	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Volume (cm3)	Leitura de Ultra-Sons seco (µ.s)	Velocidade Ultra-Sons seco (m/s)
A4-1	139	54	318,34	68,6	2026,24
A4-2	139	54	318,34	68,5	2029,20
A4-3	139	54	318,34	64,5	2155,04
A4-4	139	54	318,34	66,5	2090,23
A4-5	139	54	318,34	64,9	2141,76
A4-6	139	54	318,34	59,9	2320,53
A4-7	139	54	318,34	59,3	2344,01
A4-8	139	54	318,34	58,0	2396,55
A4-9	139	54	318,34	64,5	2155,04
A4-10	139	54	318,34	61,7	2252,84
A4-11	139	54	318,34	64,0	2171,88
A4-12	139	54	318,34	61,7	2252,84
A4-13	139	54	318,34	61,8	2249,19
A4-14	139	54	318,34	57,2	2430,07
A4-15	139	54	318,34	58,8	2363,95
Média				**62,7**	**2225,29**

Amostra 5

Provete	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Volume (cm3)	Leitura de Ultra-Sons seco (µ.s)	Velocidade Ultra-Sons seco (m/s)
A5-1	100	49	188,57	51,1	1956,95
A5-2	100	49	188,57	45,0	2222,22
A5-3	100	49	188,57	43,7	2288,33
A5-4	100	49	188,57	52,0	1923,08
A5-5	100	49	188,57	48,8	2049,18
A5-6	100	49	188,57	46,0	2173,91
A5-7	100	49	188,57	50,7	1972,39
A5-8	100	49	188,57	54,8	1824,82
A5-9	100	49	188,57	50,0	2000,00
A5-10	100	49	188,57	47,0	2127,66
A5-11	100	49	188,57	51,1	1956,95
A5-12	100	49	188,57	62,2	1607,72
A5-13	100	49	188,57	51,6	1937,98
Média				**50,3**	**2003,17**

Amostra 6

Provete	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Volume (cm3)	Leitura de Ultra-Sons seco (µ.s)	Velocidade Ultra-Sons seco (m/s)
A6-1	100	49	188,57	54,9	1821,49
A6-2	100	49	188,57	56,0	1785,71
A6-3	100	49	188,57	57,4	1742,16
A6-4	100	49	188,57	54,6	1831,50
A6-5	100	49	188,57	56,6	1766,78
Média				**55,9**	**1789,53**

Amostra 7

Provete	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Volume (cm3)	Leitura de Ultra-Sons seco (µ.s)	Velocidade Ultra-Sons seco (m/s)
A7-1	100	49	188,57	26,1	3831,42
A7-2	100	49	188,57	26,8	3731,34
A7-3	100	49	188,57	29,7	3367,00
A7-4	100	49	188,57	28,0	3571,43
A7-5	100	49	188,57	30,6	3267,97
A7-6	100	49	188,57	29,4	3401,36
A7-7	100	49	188,57	31,6	3164,56
A7-8	100	49	188,57	30,4	3289,47
A7-9	100	49	188,57	31,1	3215,43
A7-10	100	49	188,57	32,1	3115,26
A7-11	100	49	188,57	29,6	3378,38
A7-12	100	49	188,57	29,6	3378,38
A7-13	100	49	188,57	29,1	3436,43
Média				**29,5**	**3396,03**

A7-14	125	49	235,72	37,1	3369,27
A7-15	125	49	235,72	42,1	2969,12
A7-16	125	49	235,72	48,2	2593,36
A7-17	125	49	235,72	38,8	3221,65
A7-18	125	49	235,72	37,2	3360,22
Média				**40,7**	**3102,72**

Anexo VI - Valores da resistência à compressão uniaxial (σc), após ensaio nos provetes das diferentes amostras

Provetes - Amostra 1				
Provete	**Altura (mm)**	**Diâmetro (mm)**	**Volume (cm3)**	**Resistência à compressão Mpa**
A1-1	110	54	251,92	22,49
A1-2	110	54	251,92	18,86
A1-4	110	54	251,92	19,34
A1-5	110	54	251,92	19,74
A1-6	110	54	251,92	21,92
Média				**20,47**

Provetes - Amostra 2				
Provete	**Altura (mm)**	**Diâmetro (mm)**	**Volume (cm3)**	**Resistência à compressão Mpa**
A2-1	139	54	318,34	37,90
A2-2	139	54	318,34	39,43
A2-3	139	54	318,34	42,14
A2-4	139	54	318,34	43,23
A2-5	139	54	318,34	40,56
A2-6	139	54	318,34	39,21
A2-7	139	54	318,34	38,21
A2-8	139	54	318,34	41,96
A2-9	139	54	318,34	43,58
A2-11	139	54	318,34	39,04
A2-12	139	54	318,34	33,23
Média				**39,86**

Provetes - Amostra 3				
Provete	**Altura (mm)**	**Diâmetro (mm)**	**Volume (cm3)**	**Resistência à compressão (σc) MPa**
A3-1	139	54	318,34	40,17
A3-3	139	54	318,34	31,70
A3-4	139	54	318,34	34,15
A3-5	139	54	318,34	42,69
Média				**37,18**

A3-2	110	49	207,43	41,09

Provetes - Amostra 4				
Provete	**Altura (mm)**	**Diâmetro (mm)**	**Volume (cm3)**	**Resistência à compressão Mpa**
A4-1	139	54	318,34	50,69
A4-2	139	54	318,34	58,73
A4-3	139	54	318,34	61,35
A4-4	139	54	318,34	66,02
A4-5	139	54	318,34	58,82
A4-6	139	54	318,34	61,04
A4-7	139	54	318,34	63,84
A4-9	139	54	318,34	52,70
A4-10	139	54	318,34	72,35
A4-11	139	54	318,34	72,83
A4-12	139	54	318,34	49,78
A4-13	139	54	318,34	53,40
A4-14	139	54	318,34	60,90
A4-15	139	54	318,34	51,39
Média				**59,56**

Provetes - Amostra 5				
Provete	**Altura (mm)**	**Diâmetro (mm)**	**Volume (cm3)**	**Resistência à compressão Mpa**
A5-1	100	49	188,57	45,93
A5-2	100	49	188,57	52,50
A5-3	100	49	188,57	42,59
A5-4	100	49	188,57	47,36
A5-5	100	49	188,57	48,47
A5-6	100	49	188,57	46,38
A5-7	100	49	188,57	46,17
A5-8	100	49	188,57	44,79
A5-9	100	49	188,57	49,22
A5-10	100	49	188,57	36,05
A5-11	100	49	188,57	47,86
A5-12	100	49	188,57	37,22
A5-13	100	49	188,57	44,08
Média				**45,28**

Provetes - Amostra 6				
Provete	**Altura (mm)**	**Diâmetro (mm)**	**Volume (cm3)**	**Resistência à compressão Mpa**
A6-1	100	49	188,57	36,42
A6-2	100	49	188,57	35,49
A6-3	100	49	188,57	38,99
A6-4	100	49	188,57	35,36
A6-5	100	49	188,57	34,89
Média				**36,23**

Provetes - Amostra 7				
Provete	**Altura (mm)**	**Diâmetro (mm)**	**Volume (cm3)**	**Resistência à compressão Mpa**
A7-1	100	49	188,57	79,12
A7-2	100	49	188,57	66,04
A7-3	100	49	188,57	66,54
A7-4	100	49	188,57	76,97
A7-5	100	49	188,57	83,73
A7-6	100	49	188,57	66,00
A7-7	100	49	188,57	94,01
A7-8	100	49	188,57	93,97
A7-9	100	49	188,57	89,16
A7-10	100	49	188,57	78,46
A7-11	100	49	188,57	73,93
A7-12	100	49	188,57	68,42
A7-13	100	49	188,57	88,71
Média				**78,85**

Provete	**Altura (mm)**	**Diâmetro (mm)**	**Volume (cm3)**	**Resistência à compressão Mpa**
A7-14	125	49	235,72	86,25
A7-15	125	49	235,72	80,37
A7-16	125	49	235,72	60,47
A7-17	125	49	235,72	95,33
A7-18	125	49	235,72	98,62
Média				**84,21**