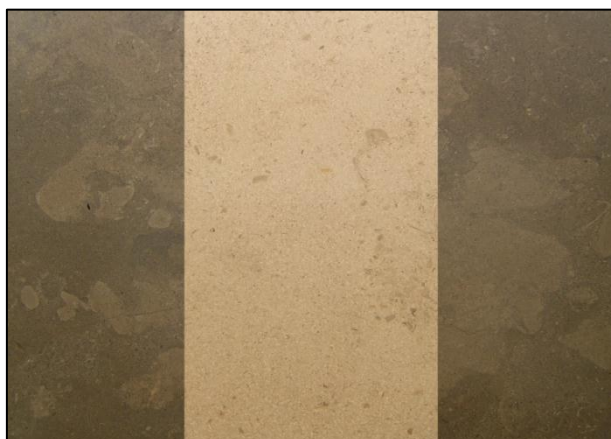


**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Civil**



**Revestimento de piso em pedra calcária – adequabilidade,  
patologia e manutenção**

**MARIA JOSÉ PEREIRA HORTAS GONÇALVES**

Bacharel em Engenharia Civil

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de  
Especialização em Edificações

Orientador:

Mestre Paulo Malta da Silveira

Júri:

Presidente: Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos

Vogais:

Mestre António Jorge Silva e Sousa

Mestre Paulo Malta da Silveira

**Julho de 2013**

*“Pedras, penhas, penhascos... Foram talvez segmentos do estalido. Ou estalagmites outrora submersas ou fragmentos hostis da lua cheia ou quartzos que mudou de destino ou estátuas que o tempo e o vento estilhaçaram e esmigalharam (...) ou simplesmente pedra, rugosa, cintilante, cinzenta, pura e pesada para que construas com ferro e madeira uma casa na areia”*

Pablo Neruda, “Uma casa na Areia”, Publicações Dom Quixote, Lx 1998



## AGRADECIMENTOS

Ao longo da elaboração deste trabalho, percorri um caminho que me fez acreditar que tudo é possível, mesmo na adversidade. Mesmo quando o foco não está presente, mesmo quando outras prioridades chamam por nós, há sempre Alguém que nos faz acreditar que é possível. Obrigada.

Ao meu orientador, Senhor Eng.<sup>o</sup> Malta da Silveira, que ao longo deste percurso, demonstrou disponibilidade, saber, rigor e que sempre me apontou o rumo a seguir.

À Senhora Eng<sup>a</sup> Raquel Milho e Técnico experimentador Senhor António Fernandes, pela disponibilidade, enquanto colaboradores do laboratório de materiais de construção do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. O bom ambiente de trabalho proporcionado, apoio e livre acesso aos equipamentos necessários para desenvolver o trabalho experimental, foram essenciais.

À empresa Marsefal – Mármore Serrados de Fátima, Lda., nas pessoas do Senhor Mário Marques e Senhor João Marques, que amavelmente me receberam, transmitiram o seu saber e proporcionaram visitas a pedreiras e oficinas, facilitando as amostras necessárias ao trabalho experimental.

Aos amigos, colegas e técnicos com quem ao longo da minha vida pude aprender e partilhar conhecimento, mas acima de tudo bom senso.

Aos meus sogros, pelo apoio familiar e positividade, nos momentos menos otimistas.

Aos meus pais, por estarem sempre presentes e disponíveis. A sua dedicação e compromisso - são exemplares.

Ao meu companheiro, Pedro, pelo seu apoio incondicional em todos os momentos da minha vida, e sem o qual este trabalho não teria sido possível.

À minha filha Mariana, que diária e pacientemente me questionava sobre a conclusão desta dissertação e a quem um dia, orgulhosamente respondi: “Está concluída.”

Aos meus avós, muito obrigada. *(a título póstumo)*



## RESUMO

A pedra calcária é, em Portugal, um dos mais utilizados materiais de acabamento, constituindo uma referência no edificado recente, nomeadamente na região de Lisboa.

Pretende-se dar a conhecer a sua presença em Portugal, reconhecimento além-fronteiras, suas características, suas qualidades, suas fragilidades e exigências que lhe são colocadas enquanto material e sistema de revestimento de piso.

Atendendo à transformação a que estes materiais ficam sujeitos após a sua exploração, é importante o estudo dos processos de degradação que ocorrem assim como a identificação daqueles que se apresentam como uma boa opção de revestimento, em detrimento de outros.

Tendo como apoio o trabalho de campo e laboratorial efetuado, materializado através da simulação de manutenção e limpeza correspondente ao período temporal de um ano, sobre as litologias calcárias de azul Valverde e vidro Moleanos, dá-se a conhecer a importância do planeamento da manutenção, do controlo de qualidade e rastreio patológico, que, associados a boas práticas, permitem tomar ações proactivas como veículo mitigador de erros sistemáticos nesta área.

## PALAVRAS-CHAVE

Pedra calcária – Revestimento de piso - Adequabilidade – Patologia - Manutenção



## **ABSTRACT**

Limestone is in Portugal, one of the most widely used finishing materials, constituting an important reference in recent buildings construction, particularly in the Lisbon region.

The present paper intended to make known his presence in Portugal and in the world, their characteristics, their qualities, their weaknesses and demands placed upon it as a material and system of floor coating.

Given the transformation that these materials are subject after quarry's operations, is important studing the degradation processes that occur, and identify as well, the good and bad limestone coating options.

The support fieldwork and laboratory was made. Materialized through the simulation of maintenance and cleaning corresponding to the period of a year, on the limestone's lithologies blue Valverde and vidro Moleanos gives to know the importance of maintenance planning, quality control and pathological tracking, which, associated with good practice, allow taking proactive actions, trying to avoid in this way the occurrence of recurrent and systematic errors in this area.

## **KEY-WORD**

Limestone – Floor coating – Suitability – Pathology - Maintenance



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO .....	V
ABSTRACT.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE QUADROS.....	XV
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.1. Objetivos .....	1
1.2. Metodologia de trabalho.....	2
2. ROCHAS ORNAMENTAIS.....	5
2.1. Enquadramento – conceito de rocha e sua formação .....	5
2.2. A presença das rochas ornamentais em Portugal .....	8
2.3. A indústria extrativa e transformadora .....	11
2.4. O papel do controlo de qualidade .....	17
2.5. Reconhecimento do problema associado à escolha de pedra para revestimento .....	22
3. REVESTIMENTO EM PEDRA CALCÁRIA.....	23
3.1. Enquadramento.....	23
3.2. Características mineralógicas e químicas .....	23
3.3. Características físico-mecânicas .....	23
3.4. Pavimentos em pedra calcária .....	26
3.5. Exigências funcionais de revestimentos de piso.....	28
3.6. Patologia de materiais pétreos.....	29
4. SISTEMA DE REVESTIMENTO DE PISO EM PEDRA NATURAL .....	37
4.1. Enquadramento.....	37
4.2. A seleção da pedra – recomendações .....	37
4.3. Aplicação - recomendações.....	38
4.3.1. Base de assentamento .....	38
4.3.2. Betonilha de regularização .....	39
4.3.3. Colagem.....	41
4.3.4. Juntas .....	42
5. MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO .....	49
5.1. Enquadramento.....	49
5.2. Planeamento da manutenção .....	49
5.3. Otimização da manutenção – algumas sugestões e recomendações .....	51

5.3.1. Fase de projeto.....	51
5.3.2. Fase de construção e período de garantia.....	57
5.3.3. Fase de serviço .....	60
5.4. A limpeza e proteção da pedra natural – breve abordagem .....	61
6. TRABALHO EXPERIMENTAL .....	65
6.1. Enquadramento.....	65
6.2. Objetivo.....	65
6.3. Plano de ensaio .....	66
6.3.1. Pressupostos, condicionantes e limitações .....	66
6.3.2. Amostragem .....	67
6.3.3. Descrição do plano .....	69
6.3.4. Breve justificação sobre materiais, produtos e opções .....	70
6.4. Macroescopia .....	71
6.4.1. Equipamento utilizado .....	72
6.4.2. Caracterização macroscópica das amostras em estudo .....	73
6.5. Massa volúmica aparente e porosidade aberta .....	74
6.5.1. Cálculo da massa imersa e saturada.....	76
6.5.2. Cálculo da massa volúmica aparente e porosidade aberta .....	79
6.6. Comentário aos resultados obtidos – Instante T0 - fase inicial .....	81
6.7. Simulação de limpeza - Metodologia .....	83
6.8. Ponto de medição e paragem – Instante T1 - 25% do tempo decorrido .....	84
6.9. Ponto de medição e paragem – Instante T2 - 50% do tempo decorrido .....	90
6.10. Ponto de medição e paragem – Instante T3 - 100% do tempo decorrido .....	93
6.11. Análise de resultados .....	95
7. CONCLUSÕES.....	105
7.1. Considerações finais.....	105
7.2. Desenvolvimentos futuros .....	106
BIBLIOGRAFIA.....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Núcleos de exploração em Portugal - (Adaptado Boletim de Minas nº33, 1996).....	9
Fig. 2 – Exploração “Moleanos Vidraço” – Extração de rochas, S.A. - “Moleanos nº 3” .....	12
Fig. 3 – Engenho de corte monolâmina com refrigeração por injeção de água .....	12
Fig. 4 – Engenho de corte multilâmina com refrigeração por injeção de água .....	13
Fig. 5 – Polimento manual e automático .....	14
Fig. 6 – Transformação de chapa - corte de ladrilho .....	14
Fig. 7 – Aspeto de reparação inadequada em pedra de Lioz.....	16
Fig. 8 – Acondicionamento de peças de ladrilho de pedra natural.....	17
Fig. 9 – Sistema de aspiração e depósito de carbonato de cálcio desidratado - “natas” .....	17
Fig. 10 – Revestimento de paredes, pavimentos e escadas em pedra lioz amaciado .....	26
Fig. 11 – Revestimento de pavimentos e escadas em pedra azul Valverde amaciado .....	26
Fig. 12 – Revestimento de pavimentos e escadas em pedra de vidro de Moleanos.....	26
Fig. 13 – Paredes e pavimentos em pedra de azulino Cascais, brecha pérola e Alpinina .....	27
Fig. 14 – Alteração cromática - pavimentos de Lioz, azul Valverde e vidro de Moleanos .....	31
Fig. 15 – Colonização biológica - pavimento em Lioz .....	31
Fig. 16 – Colonização biológica, vegetação - patim e degraus em vidro de Moleanos.....	31
Fig. 17 – Incrustações e manchas - escada em vidro de Moleanos .....	32
Fig. 18 – Eflorescência – pavimento em Lioz e degrau de escada em azul Valverde.....	32
Fig. 19 – Esfoliação, lascagem - murete em azul Valverde.....	32
Fig. 20 – Esfoliação, lascagem - pavimento e capeamento em azul Valverde.....	32
Fig. 21 – Deformação e fratura - pavimento exterior em azul Valverde.....	33
Fig. 22 – Junta aberta, deformação e lascagem – capeamento em azul Valverde .....	33
Fig. 23 – Desagregação granular – pavimento em azul Valverde .....	33
Fig. 24 – Erosão superficial e picadura - cobertor de degrau em vidro de Moleanos.....	33
Fig. 25 – Erosão diferencial - pavimento em azul Valverde amaciado .....	34
Fig. 26 – Eflorescência, deformação e lascagem - paramento vertical em azul Valverde.....	34
Fig. 27 – Mancha – consequência de fixações metálicas não tratadas em azul Valverde .....	34
Fig. 28 – Mancha e criptoflorescências – pavimento em azul Valverde amaciado.....	34
Fig. 29 – Exemplo de peças a rejeitar - pedra azul Valverde e Lioz amarelo .....	38
Fig. 30 – Assentamento diferencial de fundação com repercussões no revestimento.....	39
Fig. 31 – Acabamento na própria laje quando da execução da betonagem .....	39
Fig. 32 – Aplicação de betão celular, betonilha e tela impermeabilizante (PVC) .....	40
Fig. 33 – Assentamento de pedra azulino Cascais polida através de adesivo de cor cinza...41	41
Fig. 34 – Dessolidarização entre o piso e elementos verticais .....	42
Fig. 35 – Junta vertical exposta, tendo originado o aparecimento de vegetação.....	43
Fig. 36 – Pormenor de remate e criação de junta vertical desapropriada .....	43
Fig. 37 – Pavimento exterior em Lioz e azul Valverde - junta aberta e alteração de cor .....	45
Fig. 38 – Escada exterior em vidro de Moleanos - eflorescências e vegetação.....	46
Fig. 39 – Patologia em elementos verticais por ausência de juntas deformáveis .....	46
Fig. 40 – Patologia em pavimento por ausência de juntas deformáveis.....	47
Fig. 41 – Grelha de caleira de águas pluviais em vidro Moleanos .....	50
Fig. 42 – Embasamento em pedra azul Valverde submerso em lago artificial .....	50
Fig. 43 – Pavimento em azul Valverde amaciado – zona de grande tráfego pedonal.....	50
Fig. 44 – Patim em vidro de Moleanos e degraus de escada em Ataija creme .....	52
Fig. 45 – Ineficaz dimensionamento de laje de pavimento exterior em Lioz (veículos).....	52

Fig. 46 – Estação de Metro Oriente – pavimento azul Valverde (1998) .....	53
Fig. 47 – Estação de Metro Aeroporto – pavimento azul Valverde (2012).....	53
Fig. 48 – Degraus de escada exterior em vidro de Moleanos e vidro de Ataija creme ...	54
Fig. 49 – Degrau de escada exterior, em vidro de Moleanos amaciado, com aresta viva..	54
Fig. 50 – Ausência de dispositivos de drenagem e encaminhamento de águas pluviais.....	55
Fig. 51 – Contributo da diferença altimétrica para diminuição da patologia.....	55
Fig. 52 – Patologia em superfícies calcárias horizontais associadas a juntas de dilatação ...	56
Fig. 53 – Insuficiente especificação de ancoragens .....	56
Fig. 54 – Espaço exíguo com 15 cm de largura e profundidade máxima de 1,50 m .....	57
Fig. 55 – Pedras calcárias com fissuração e preenchimento de lacunas.....	58
Fig. 56 – Ineficiente tratamento de juntas.....	58
Fig. 57 – Irregularidade na planeza da superfície.....	59
Fig. 58 – Deficiente execução de pendente e parca manutenção.....	59
Fig. 59 – Tentativa de limpeza com uso indevido de abrasivos.....	61
Fig. 60 – Provetes de pedra natural de vidro de Moleanos e azul Valverde.....	68
Fig. 61 – Amostra de referência em pedra natural de vidro de Moleanos e azul Valverde	68
Fig. 62 – Extrato do Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas – azul Valverde .....	71
Fig. 63 – Extrato do Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas – Moleanos .....	71
Fig. 64 – Lupa 45 x 21 mm.....	72
Fig. 65 – Observação das amostras – instante T0 – fase inicial.....	73
Fig. 66 – Amostra base de vidro Moleanos e pormenor ampliado 45 x 21 mm .....	73
Fig. 67 – Amostra base de azul Valverde e pormenor ampliado 45 x 21mm.....	73
Fig. 68 – Estufa 70°C e bomba de vácuo. ....	74
Fig. 69 – Balança com capacidade de pesagem de 1 kg / exatidão de 0,01g e exsicador....	74
Fig. 70 – Provetes em estufa, previamente aquecida (70 ± 5) °C.....	75
Fig. 71 – Selagem periférica do exsicador.....	76
Fig. 72 – Sistema de simulação de recipiente de vácuo para cada uma das litologias.....	76
Fig. 73 – Imersão dos provetes .....	77
Fig. 74 – Pormenor de enchimento gradual do exsicador e provetes imersos.....	77
Fig. 75 – Equipamento para pesagem hidrostática .....	78
Fig. 76 – Limpeza do provete e obtenção da massa saturada (ms) .....	78
Fig. 77 – Identificação de kits de limpeza, B e C, respetivamente .....	83
Fig. 78 – Preparação das soluções de limpeza .....	84
Fig. 79 – Procedimento de limpeza.....	84
Fig. 80 – Execução do procedimento de limpeza (uma lavagem).....	85
Fig. 81 – Secagem da superfície (vidro de Moleanos e azul Valverde, respetivamente)....	85
Fig. 82 – Pesagem hidrostática da amostra M_AB_1.1. (massa imersa e saturada) .....	87
Fig. 83 – Amostra azul Valverde V_AB_1.3. instante T0 (estado inicial) – pontos notáveis...88	
Fig. 84 – V_AB_1.3. – Instante T1 (25%) – pontos notáveis (olho nú).....	88
Fig. 85 – V_AB_1.3. – Instante T1 (25%) – pontos notáveis (lupa 45 x 21 mm).....	88
Fig. 86 – Pesagem hidrostática da amostra M_AB_1.2. (massa imersa e saturada) .....	93
Fig. 87 – Vidro de Moleanos - evolução da massa volúmica aparente .....	96
Fig. 88 – M_AB_1.1. e M_AB_1.2. – Tendência de evolução da massa volúmica aparente .96	
Fig. 89 – M_AB_1.3. e M_AC_1.4. – Tendência de evolução da massa volúmica aparente .97	
Fig. 90 – M_AC_1.5. e M_AC_1.6. – Tendência de evolução da massa volúmica aparente .97	
Fig. 91 – Vidro de Moleanos - evolução da porosidade aberta.....	98
Fig. 92 - M_AB_1.1. e M_AB_1.2. – Tendência de evolução da porosidade aberta .....	99
Fig. 93 - M_AB_1.3. e M_AC_1.4. – Tendência de evolução da porosidade aberta .....	99

Fig. 94 - M_AC_1.5. e M_AC_1.6. – Tendência de evolução da porosidade aberta.....	99
Fig. 95 – Vidraço de Moleanos - evolução do aspeto superficial do provete M_AB_1.1. ....	100
Fig. 96 – Azul Valverde - evolução da massa volúmica aparente .....	100
Fig. 97 – V_AB_1.1. e V_AB_1.2. – Tendência de evolução da massa volúmica aparente.	101
Fig. 98 – V_AB_1.3. e V_AC_1.4. – Tendência da evolução da massa volúmica aparente	101
Fig. 99 – V_AC_1.5. e V_AC_1.6. – Tendência de evolução da massa volúmica aparente	101
Fig. 100 – Azul Valverde – evolução da porosidade aberta .....	102
Fig. 101 – V_AB_1.1. e V_AB_1.2. – Tendência de evolução da porosidade aberta.....	103
Fig. 102 – V_AB_1.3. e V_AC_1.4. – Tendência de evolução da porosidade aberta .....	103
Fig. 103 – V_AC_1.5. e V_AC_1.6. – Tendência de evolução da porosidade aberta .....	103
Fig. 104 – Azul Valverde – evolução do aspeto superficial do provete V_AB_1.1.....	104



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Tipo de rochas de acordo com a sua origem e formação (adaptado).....	6
Quadro 2 – Rochas sedimentares – (Adaptado Catálogo das Rochas Ornamentais Portuguesas).....	7
Quadro 3 – Fonte: Tabela 11 da obra: “XXI Rapporto Marmo e Pietre Nel Mondo 2011”, por Montani, Carlo C.....	11
Quadro 4 – Acabamentos de superfície para rochas ornamentais - adaptado de Rochas e Equipamentos nº 77, 1º Trimestre, 2005.....	15
Quadro 5 – Normas de produto aplicáveis à pedra natural.....	20
Quadro 6 – Ensaios de caracterização da pedra natural - adaptado.....	25
Quadro 7 – Exigências funcionais de revestimento de piso [adaptado de NASCIMENTO, José Martins – Exigências Funcionais de Revestimentos de Piso – 3ªed. Lisboa - LNEC 2007].....	28
Quadro 8 – Identificação de amostras, dimensão, acabamento e proveniência.....	68
Quadro 9 – Plano de ensaio – simulação de período de um ano de manutenção de pavimento em pedra.....	69
Quadro 10 – Resultado das pesagens para obtenção da massa constante no instante T0 (fase inicial).....	75
Quadro 11 – Mapa de pesagem hidrostática no instante T0 (fase inicial) – massa saturada e imersa.....	78
Quadro 12 – Massa volúmica aparente e porosidade aberta – instante T0 (fase inicial).....	81
Quadro 13 – Comparação de valores ensaiados e valores catalogados.....	81
Quadro 14 – Resultado das pesagens para obtenção da massa constante no instante T1 (25% do tempo decorrido).....	85
Quadro 15 – Mapa de pesagem hidrostática no instante T1 (25% do tempo decorrido) – massa saturada e imersa.....	86
Quadro 16 – Massa volúmica aparente e porosidade aberta – instante T1 (após 25% do tempo decorrido).....	87
Quadro 17 – Vidraço de Moleanos e azul Valverde - análise macroscópica após decorrido 25% do tempo de manutenção.....	89
Quadro 18 – Resultado das pesagens para obtenção da massa constante no instante T2 (50% do tempo decorrido).....	90
Quadro 19 – Mapa de pesagem hidrostática no instante T2 (50% do tempo decorrido) – massa saturada e imersa.....	91
Quadro 20 – Massa volúmica aparente e porosidade aberta – instante T2 (após 50% do tempo decorrido).....	91
Quadro 21 – Vidraço de Moleanos e azul Valverde - análise macroscópica após decorrido 50% do tempo de manutenção.....	92
Quadro 22 – Resultado das pesagens para obtenção da massa constante no instante T3 (100% do tempo decorrido).....	93
Quadro 23 – Mapa de pesagem hidrostática no instante T3 (100% do tempo decorrido) – massa saturada e imersa.....	94
Quadro 24 – Massa volúmica aparente e porosidade aberta – instante T3 (após 100% do tempo decorrido).....	94
Quadro 25 – Vidraço de Moleanos e azul Valverde - análise macroscópica após decorrido 100% do tempo de manutenção.....	95



## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Enquadramento**

O revestimento, independentemente do tipo, é a face visível de qualquer edifício e, à primeira vista, é o que caracteriza o estado de conservação e consequentemente, é determinante na sua valorização socioeconómica.

Se por um lado, os edifícios históricos começam a dar os primeiros passos numa aposta firme na recuperação e restauro, por outro lado, constata-se que os edifícios recentes apresentam sinais precoces de envelhecimento nos seus revestimentos em pedra, sem que, de forma sustentada e sustentável, se promovam ações claras de adequada e periódica manutenção.

Nem todos os tipos de pedra oferecem a robustez necessária de modo a receberem as marcas do tempo de forma indelével. As pedras calcárias são disso, um exemplo.

A sua utilização remonta a gerações, mas atualmente os padrões de qualidade e durabilidade impostos pelos intervenientes são elevados, assim como são elevados os investimentos associados e mais elevados, ainda, são os custos decorrentes da fase de exploração e manutenção do edificado existente.

Conhecer a pedra calcária, as suas qualidades e fragilidades, quando aplicada em revestimentos de piso, é o desafio que se coloca.

Não pretende esta dissertação, fornecer soluções definitivas. Serão, sim, enumeradas metodologias e boas práticas, que poderão contribuir, de forma positiva, como uma ferramenta auxiliar nesta temática.

### **1.1. Objetivos**

Propõe-se com a presente dissertação de mestrado:

- ✓ Reconhecer a adequabilidade e aplicabilidade da pedra calcária, como material de revestimento;
- ✓ Identificar e caracterizar diferentes tipos de patologia, associadas a revestimentos de piso com pedra natural calcária, em edificado recente;
- ✓ Identificar medidas mitigadoras da evolução patológica, num contexto de manutenção;

- ✓ Avaliar experimentalmente e tornar mensuráveis, as consequências associadas a processos de manutenção agressiva sobre pedra natural calcária (vidraço de Moleanos e azul Valverde);

## 1.2. Metodologia de trabalho

A organização da presente dissertação encontra-se estruturada e distribuída em 7 capítulos e dividida em duas partes distintas e complementares, por forma a atingir os objetivos delineados.

A utilização da pedra natural calcária como material de revestimento, o seu enquadramento histórico e quadro normativo, bem como o papel dos decisores na contribuição da sua certificação como produto reconhecido em Portugal e no mundo, são as questões abordadas no segundo capítulo, a par das metodologias de exploração e transformação deste material natural.

Ao longo do terceiro capítulo, são identificadas, de forma sucinta, as características mineralógicas, químicas e físico-mecânicas, assim como a patologia associada aos revestimentos em pedra calcária, materializada através do trabalho de campo e complementado pelas exigências que se apresentam quando aplicados a pavimentos.

Entender o revestimento de piso como um sistema, interdependente e evolutivo, que carece de metodologia, seleção e controlo de qualidade, associado não só ao material natural, *per si*, mas também a todos os outros que o compõem, são matérias explanadas ao longo do quarto capítulo, constituindo até aqui, a primeira parte desta dissertação.

Tendo como princípio a evolução natural da pedra calcária - suas fragilidades e adaptação a novas solicitações, na maior parte das vezes à custa de quadros patológicos - identificou-se um denominador comum tendo em vista a mitigação dos problemas associados a essa temática, antevendo soluções e reduzindo custos, geralmente associados a custos de manutenção. Neste contexto, e ao longo do capítulo 5, são enumeradas algumas recomendações aos intervenientes nas várias fases que compõem a vida útil de qualquer empreendimento no contexto da presente dissertação. Ainda assim, não seria possível atingir globalmente os objetivos propostos sem que de alguma forma se conseguisse materializar a importância de uma adequada manutenção sobre este tipo de materiais. A campanha experimental efetuada, permitiu simular um esquema de limpeza e

manutenção não adequada, e tornar mensurável o impacto que a mesma oferece, sobre algumas das características das pedras calcárias eleitas para o efeito – vidraço de Moleanos e o azul Valverde. Os capítulos 5 e 6 constituem, deste modo, a segunda parte da dissertação.

No sétimo e último capítulo, são apresentadas as conclusões e algumas propostas de futuros desenvolvimentos, neste domínio.



## **2. ROCHAS ORNAMENTAIS**

### **2.1. Enquadramento – conceito de rocha e sua formação**

As rochas que afloram à superfície, ou as que se encontram ao alcance de uma perfuradora de sondagem, constituem a fonte de maior conhecimento sobre as épocas primitivas do planeta Terra. O testemunho das rochas e fósseis revela não só a evolução da vida mas também as transformações dos oceanos, continentes, cordilheiras e rios, espelhando, desse modo, a topografia de uma região, a sua natureza e a estrutura das rochas que constituem o seu subsolo. Assim, a distribuição da rede hidrográfica, colinas e falésias, encontram-se relacionadas com os diferentes tipos de rocha existentes na natureza.

Será então adequado, definir o conceito de rocha.

Rocha, é uma massa de material mais ou menos homogêneo, formando uma parte individual da crosta terrestre e deve a sua origem a um processo geológico (Alves, Martins 1984), trata-se de um agregado coerente de minerais ou de substâncias sólidas, originado de forma natural (Marques, M.A; Rodrigues, J.D., Marques, B.L., 2006). Sendo composta por um mineral (calcite) ou por um agregado de minerais, facilmente se identificam por simples observação e sem auxílio de qualquer equipamento adicional. A esta constituição, está associada uma formação ambígua que não permite fixar uma fórmula quanto à composição química, nem tão pouco estabelecer certezas e limites bem definidos quanto a essa composição.

Será de referir que, a heterogeneidade química das rochas, ainda que da mesma natureza, é por diversas vezes um inibidor na deteção da patologia, e preconização adequada e uniforme, de tratamento preventivo e/ou corretivo.

De forma sucinta, apresenta-se no quadro 1, um breve resumo, relativamente à forma de agrupamento das rochas de acordo com a sua origem e de acordo com o ambiente geológico de formação.

ROCHAS			
Tipo	Descrição	Formação	Exemplos
<b>MAGMÁTICAS</b> ou <b>ÍGNEAS</b>	<b>Vulcânicas</b> - Resultam do arrefecimento brusco à superfície	Endógenas (profundo)	<b>Basalto</b> e andesito
	<b>Plutônicas</b> - Resultam da consolidação em profundidade		<b>Granito</b> , sienito e gabro
<b>METAMÓRFICAS</b>	Resultam do metamorfismo de rochas magmáticas, sedimentares ou mesmo metamórficas		<b>Mármore</b> s, xistos e ardósias
<b>SEDIMENTARES</b>	Sedimentos transportados	Exógenas (externa)	<b>Calcário</b> e dolomite
	Sedimentos não transportados		

Quadro 1 – Tipo de rochas de acordo com a sua origem e formação (adaptado ALVES, António Martins, 1982)

O cômputo da composição da crosta terrestre evidencia que as rochas ígneas e metamórficas representam cerca de 95% do volume da litosfera, tendo as rochas sedimentares pouca representatividade. Este aspeto, não invalida que os afloramentos rochosos da superfície terrestre sejam essencialmente constituídos por rochas sedimentares, representando cerca de 75% da sua totalidade (Marques, M.A. et al, 2006).

“O termo rocha deve ser utilizado, sempre que o contexto se situe no âmbito da Geologia e Petrografia, já que, após a extração e preparação para fins industriais e artísticos, as designações de pedra ou pedra natural são os termos correntes, genericamente aceites.” – (Marques, M.A. et al, 2006).

Não obstante esta ténue diferenciação, ainda são de considerar as terminologias próprias da atividade extrativa, transformadora e comercial, que muitas vezes contribuem para a existência de distintas designações para uma mesma pedra.

Convém também distinguir o conceito de rocha ornamental, amplamente utilizado.

“Rochas ornamentais, são aquelas cuja cor, aspeto, textura e resistência mecânica satisfazem as exigências de cada tipo de obra que se pretende realizar.”- (Moura, A. Casal, 2005).

Sendo as rochas sedimentares calcárias o foco em estudo na presente dissertação apresenta-se no quadro 2 alguns exemplos deste tipo de rochas.



Quadro 2 – Rochas sedimentares – (Adaptado Catálogo das Rochas Ornamentais Portuguesas)

As principais formações sedimentares do território português manifestam-se nas Orlas meso cenozoicas ocidental e meridional e nas bacias terciárias dos rios Tejo e Sado (Marques M.A. et al, 2006).

No edificado português, as pedras de origem sedimentar mais utilizadas são as carbonatadas, variando entre versões mais ou menos compactas, resistentes e duráveis, tendo como exemplo o lioz da região norte de Lisboa - a Alpinina e o Azulino Cascais. Variedades mais brandas e porosas, de comportamento sofrível, identificam-se na região centro (Coimbra) como é o caso do vidraço de Moleanos macio e a pedra de Ançã.

Também as brechas apresentam características que lhe conferem alguma vantagem dentro das rochas sedimentares. A resistência ao desgaste de 1,2 mm e a absorção de água de 0,2% da brecha pérola ou também denominada brecha de lioz, contrasta com os valores sofríveis dos mesmos parâmetros para o vidraço de Moleanos macio, que se apresenta em 4,5 mm e 3,1%, respetivamente, conforme identificadas no Catálogo das Rochas Ornamentais Portuguesas. Estas características revestem-se de particular importância no âmbito da escolha de pedras calcárias para revestimentos, devendo ser estas indubitavelmente, parte das características que devem estar associadas ao processo de seleção para prescrição e minimização da patologia associada.

## **2.2. A presença das rochas ornamentais em Portugal**

A arte de trabalhar a pedra remonta à pré-história, datando a exploração de rochas ornamentais em Portugal da época Romana. Vestígios na zona de Vila Viçosa e em Évora, constituem um testemunho desde o século II d.C. com a utilização de mármore e granitos na construção de templos, pontes, mosteiros, castelos, perpetuando a pedra como material de construção até aos dias de hoje. Na arquitetura e engenharia atual, e de igual modo, a pedra mantém-se como uma matéria-prima por excelência e manifesta intemporalidade. A importância de proximidade entre as zonas de exploração e os locais de aplicação, já não se coloca da mesma forma, pese embora as vantagens económicas subjacentes a este facto. A versatilidade dos acessos, equipamentos e meios de transporte atuais, permitem explorar a pedra de uma forma distinta de outrora.

O reconhecimento de Portugal como fonte de recursos pétreos naturais e a necessidade de antever e avaliar as suas reservas para fins ornamentais, conduziu à necessidade de investigação nesta área.

No âmbito dos calcários e dolomitos, e no início da década de 70, com especial atenção aos existentes no Maciço Calcário Estremenho, Manuppella, Guiseppe et al – 1998, procederam ao estudo, caracterização e avaliação destas reservas através de sondagens, pese embora executadas através de métodos e equipamentos não apropriados, mas ainda assim conclusivos, quando na segunda metade da década de 80, o referido estudo permitiu justificar o interesse da exploração de calcários ornamentais e a sua grande potencialidade.

No final da década de 90, a produção global de calcários ornamentais em Portugal atingiu as 675 000 t/ano, o que representou um peso de 35% da produção total de rochas ornamentais em território português (Jorge Carvalho et al, 2001) sendo as principais regiões produtoras, o maciço calcário estremenho, a região a Norte de Lisboa – Pêro Pinheiro e a Bacia Algarvia. Destaque seja feito ao Maciço Calcário Estremenho, dado ter sido o principal responsável pelo forte aumento de produção verificado entre os anos de 80 e 90, associada à intensa atividade de construção que se verificou durante esse período.

As rochas ornamentais, suscetíveis de aproveitamento e valorização, encontram-se assim repartidas um pouco por todo o território nacional, sendo que as localizações históricas continuam a ter uma relevância indubitável no campo da produção.



Convém ainda clarificar, que as rochas classificadas como calcárias não devem ser confundidas com os mármore. Os calcários são genericamente rochas sedimentares constituídas por elementos clásticos agrupados por um cimento calcítico e/ou dolomítico, isto em função da percentagem do mineral dolomite. Os mármore, por sua vez, derivam da atuação de fenómenos metamórficos sobre os calcários, sendo constituídos fundamentalmente por calcite neoformada. Esta distinção traz uma diferenciação marcada entre estas rochas ao nível das respetivas características físico-mecânicas, nem sempre acautelada nas designações comerciais correntes.

Do ponto de vista económico destacam-se as jazidas de calcários cristalinos do Alentejo - mármore de Estremoz, Borba e Vila Viçosa os calcários explorados pelo maciço Calcário Estremenho, localizados no centro – Oeste do território português, assim como uma extensa diversidade de rochas graníticas e similares, abrangendo todo o território de Portugal e de Norte a Sul. De referir também, que nos arquipélagos insulares (Madeira e Açores), se verificam predominantemente e quase exclusivamente as rochas magmáticas de formação vulcânica, muito utilizadas no edificado destas regiões.

Dados recentes do Instituto Nacional de Estatística (INE), referem que a exportação de pedra portuguesa, representa cerca de 350 milhões de euros em volume de negócios e contribui com 1,5% das exportações nacionais neste sector. As rochas calcárias do maciço estremenho representam 50% das rochas ornamentais exploradas, sendo anualmente extraídas cerca de 3 milhões de toneladas de calcário.

Apesar de ser um sector muito competitivo, importa realçar uma dicotomia intrínseca do tipo de empresas que o constituem. O facto de ser constituído por empresas de pequena dimensão, muitas delas familiares, condiciona o impacto que têm, mas simultaneamente, confere-lhe uma capacidade de adaptação e flexibilização a situações adversas, tornando essa fragilidade numa vantagem.

Impactes menos positivos, têm em termos ambientais, a qualidade do ar, o ambiente sonoro, a paisagem ecológica, os recursos hídricos e o património.

Esta é uma real dualidade, que impõe medidas de compromisso entre a vertente económica e ambiental.

Portugal, apresenta vantagens indiscutíveis nesta matéria - a qualidade, a exclusividade, o saber fazer e o reconhecimento além-fronteiras, são pontos de relevo.

Não obstante das vantagens, não se poderá deixar de mencionar, a aposta essencial na promoção e *design* além-fronteiras.

No decorrer da Feira de Verona, foi publicado e lançado o “XXI Rapporto Marmo e Pietre Nel Mondo 2011”, por Montani, Carlo C., que refere Portugal como estando entre os 10 países mundialmente reconhecidos na produção de rochas ornamentais, surgindo num destacado 8º lugar, só ultrapassado, no contexto dos países europeus, por Itália e Espanha – *vide* quadro 3. A China continua a liderar a produção mundial, seguida da Índia, Turquia, Irão e Itália.

Torna-se assim fulcral, a adoção de medidas e investimento numa área que *per si* já é um sucesso mas que carece de linhas de orientação estratégicas para enfrentar a globalização.

LÍDERES MUNDIAIS NA PRODUÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM 2010		
PAÍSES	Milhar Ton	%
China	33.000	29,4
Índia	13.250	11,9
Turquia	10.000	8,9
Irão	8.500	7,6
Itália	7.800	7,0
Brasil	6.750	6,1
Espanha	5.750	5,2
<b>Portugal</b>	<b>2.750</b>	<b>2,5</b>
USA	1.850	1,7
Grécia	1.650	1,5
França	1.150	1,0
África do Sul	850	0,8
Outros	18.200	16,3
TOTAL	111.500	100,0

Quadro 3 – Fonte: Tabela 11 da obra: “XXI Rapporto Marmo e Pietre Nel Mondo 2011”, por Montani, Carlo C

### 2.3. A indústria extrativa e transformadora

A atividade extrativa disponibiliza recursos obrigatoriamente onde estes ocorrem, sendo a exploração de pedreiras, executadas geralmente a céu aberto e em profundidade (figura 2).

As principais operações para extração de blocos são consideradas trabalhos mineiros e são compostos pela furação, o corte, o derrube, o esartejamento, a extração e o acabamento.



Fig. 2 – Exploração “Moleanos Vidraço” – Extração de rochas, S.A. - “Moleanos nº 3”

A transformação, geralmente fica a cargo de outras entidades, que pontualmente poderão também elas especializar-se em determinadas fases do processo. Os blocos são transportados e ficam parqueados em depósito, sendo posteriormente sujeitos a várias etapas, a seguir descritas, até atingir o produto final acabado.

A serragem, a transformação do bloco em chapa, da chapa em ladrilho, o corte, o polimento, a seleção e o acabamento, são algumas dessas fases de produção e transformação.

### A Serragem

Caso o bloco seja rececionado com as faces irregulares, é necessário efetuar um primeiro corte de modo a ser-lhe administrada uma configuração mais homogênea. Esta uniformização de faces possibilita não só o seu futuro manuseamento mas também a compatibilidade com engenhos de corte providos de bitolas mais restritas (figura 3).



Fig. 3 – Engenho de corte monolâmina com refrigeração por injeção de água (Instalações Marsefal)

Após esta primeira tarefa, o bloco é transformado em chapas com espessuras variáveis de acordo com o objetivo inicialmente traçado.

Atendendo à evolução do equipamento de corte, a utilização de engenhos multilâminas veio a revelar-se determinante. Identificado na figura 4, este tipo de engenho permite cortar de forma simultânea chapas de diferentes espessuras, facilitando de forma considerável a satisfação de diferentes necessidades com um só bloco. A título de exemplo, poderão ser cortadas chapas de um mesmo bloco para revestimento de pavimentos com 2 centímetros de espessura e peças de rodapé com 1 centímetro. Aqui, a vantagem não se prende apenas com a uniformização de cor e textura caso as peças venham a ser posteriormente aplicadas no mesmo espaço, mas facilitam também, a identificação da patologia (patologia tem significado plural e alargado) que poderá vir a manifestar-se de forma distinta nestes dois elementos, embora provenientes de uma mesma peça.



Fig. 4 – Engenho de corte multilâmina com refrigeração por injeção de água (Instalações Marsefal)

### Polimento e corte

Quanto ao acabamento de superfície e com a utilização de polidoras de tapete, é garantida a uniformidade do produto final. A utilização de abrasivos de grão decrescente permitem refinar a qualidade de acabamento deixada pelo disco abrasivo anterior. O grau destes abrasivos é escolhido convenientemente de acordo com o tipo de material e acabamento pretendido. Salienta-se também, que continuam a ser utilizadas polidoras manuais conforme identificadas na figura 5, no entanto, apenas para trabalhar peças especiais não compatíveis com o padrão das polidoras automáticas. Regista-se neste processo uma maior exposição a imperfeições e alguma heterogeneidade na qualidade do acabamento, dada a dependência do operador.



Fig. 5 – Polimento manual e automático (Instalações Marsefal)

Após o processo de acabamento de superfície, as chapas podem ter uma de duas finalidades: a transformação imediata ou o acondicionamento e parqueamento para futura comercialização. Em caso de transformação, a tecnologia de corte baseia-se na utilização de mesas com discos cortantes, por vezes em produção contínua, coadjuvados recentemente por programas de memorização de corte, opção que se traduz numa melhor uniformidade, qualidade, rentabilidade e segurança, conforme ilustrado na figura 6.



Fig. 6 – Transformação de chapa - corte de ladrilho (Instalações Marsefal)

Para além do polimento, outros acabamentos são habitualmente utilizados.

O amaciado, o bujardado, o flamejado, são exemplos de acabamentos frequentemente empregues. Estas possibilidades de acabamento, pretendem não só explorar o potencial da pedra para fins comerciais, mas essencialmente dotar as rochas ornamentais de atributos mais adequados à sua utilização. Apesar de o fator estético ser muitas vezes preponderante, não se poderá deixar de priorizar indiscutivelmente a sua adequabilidade face à utilização.

O critério adequado na escolha do acabamento de superfície, significa uma mais-valia para um material natural, que só *per si* já é nobre, mas essencialmente um ganho para o utilizador final.

A capacidade de transformação de uma determinada rocha na vertente do seu acabamento está amplamente relacionada com a sua textura, estrutura, dureza, densidade e composição mineralógica. Um acabamento polido, “fecha” a superfície,

dotando-a de uma barreira de proteção, um acabamento mais grosseiro tornará o material mais vulnerável a qualquer migração, pois a sua superfície encontra-se “aberta” (Chacom, Mark A., 1999).

Apresenta-se no quadro 4 os vários tipos de acabamento de superfície, descrição e suas principais características quanto ao seu aspeto final.

Tipo	Descrição	Aspeto Final
Fendido ou Lascado	Obtém-se mecânica ou manualmente	Superfície rugosa e irregular
Serrado	Obtém-se como resultado da serragem dos engenhos de corte	Superfície plana, paralela e sem brilho
Cortado	Obtém-se a partir da serragem com serras de disco	Superfície com aspecto de sulcos curvilíneos
Apicoado	Depois de plana, a superfície é golpeada com um picão, provocando o desgaste de pequenos grãos	Superfície regular, finamente rugosa
Escacilhado	A superfície da pedra é golpeada por intermédio de cinzeis e ponteiros, destacando-se esquirolas	Superfície bastante irregular e rugosa
Bujardado	Obtém-se mecânica ou manualmente, golpeando a superfície da pedra com uma bujarda, que consiste numa cabeça de aço com dentes piramidais	Superfície variável entre "pico fino" a "pico grosso"
Areado	Obtém-se a partir do impacto abrasivo, na superfície a tratar, provocado por um jacto de água a alta pressão conjuntamente com areia siliciosa	Superfície homogénia, fina e regular
Gastejado (ranhurado)	É um tipo de acabamento caracterizado pela execução de caneladuras paralelas.	Superfície de perfil côncavo ou trapezoidal
Flamejado	Tratamento da superfície da pedra através de chama de maçarico aplicado com uma inclinação de 45 graus	Superfície ondulada irregular, macia ao tato com alteração na tonalidade original da pedra
Polido	Obtém-se pela acção de cabeças rotativas friccionando a superfície da pedra com abrasivos de granulometria cada vez menor, terminado com cabeças de filtro	Superfície lisa, brilhante e reflete a luz
Amaciado	O processo é o mesmo do polimento, pese embora com a não utilização de abrasivos de grão fino e filtros	Superfície lisa e mate

Quadro 4 – Acabamentos de superfície para rochas ornamentais - adaptado de Rochas e Equipamentos nº 77, 1º Trimestre, 2005

### Seleção e acabamento

Trata-se de um processo essencialmente manual, efetuado por operários especializados. Nesta fase, incluem-se trabalhos de maior detalhe como a execução de arestas quebradas e obturação de poros visíveis.

Será de realçar que não se deve ser confundida a obturação de poros, com colmatação de imperfeições que possam comprometer o futuro desempenho do

material, exemplos como o tapamento de fissuras e ocultação de abelheiras, devem de todo ser evitados. Este tipo de “reparações” contribui fortemente para a descredibilização da pedra como material nobre de revestimento e o que, no imediato, pode representar uma solução fugaz, no futuro poderá apresentar consequências irreversíveis e comprometer a longo prazo, a utilização de determinado tipo de pedra (figura 7).



Fig. 7 – Aspeto de reparação inadequada em pedra de Lioz

Seguem-se operações de limpeza, secagem, escolha e embalamento.

A escolha e embalamento devem ser efetuados de acordo com critério pré-definido, tendo que a definição desse critério, ser indiscutivelmente clara para todos os intervenientes do processo. Quem prescreve, deve, de forma inequívoca identificar a amostra padrão pela qual todo o trabalho de seleção deve ser efetuado, assim como as tolerâncias de aceitação no que concerne a elementos geométricos, irregularidades, ou mesmo a uniformização de peças de acordo com plano prévio de preparação de estereotomias. Será sensato, também, arrolar ao processo de escolha e aprovação, o bom senso de todos os intervenientes, nunca esquecendo que de um material natural se trata.

A amostra padrão é um testemunho de início mas não de fim.

Atendendo ao conjunto de solicitações a que as peças irão estar sujeitas, quer durante as operações de movimentação de carga e descarga, quer durante o próprio transporte, urge a necessidade de cuidados acrescidos no dimensionamento das embalagens e respetiva proteção. Deve ser garantida a sua integridade assim como a segurança de pessoas e bens.

Não poderá de todo, nesta fase, ser comprometido o rigor que até aqui envolveu todo o processo produtivo e que, com a ausência de rigor na reta final, coloque em causa o cumprimento de prazos e o acréscimo de custos.

No caso de se tratar de ladrilhos com dimensões apreciáveis, são geralmente utilizadas “caixas”, conforme figura 8.

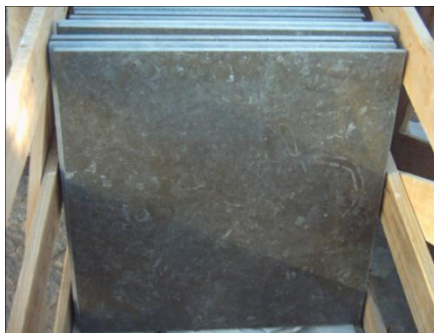


Fig. 8 – Acondicionamento de peças de ladrilho de pedra natural (Estaleiro de obra – Lumiar)

### Resíduos

O tratamento de resíduos provenientes deste tipo de indústria é composto essencialmente por restos de peças de corte e por carbonato de cálcio desidratado ou vulgarmente denominadas “natas”. Estas carecem de tratamento adequado sendo canalizadas para um tanque decantador que procede à sua separação – ver figura 9. A água remanescente é novamente introduzida no circuito da fábrica e as “natas”, após serem sujeitas a prensa, são encaminhadas para depósito autorizado.



Fig. 9 – Sistema de aspiração e depósito de carbonato de cálcio desidratado - “natas” (Instalações Marsefal)

## **2.4. O papel do controlo de qualidade**

Estando o processo de extração e transformação bem caracterizado, com metodologias e rotinas perfeitamente identificadas, torna-se premente materializar essa capacidade em algo com mais substância. Algo que complemente, afirme e credibilize a pedra natural. Atendendo à forma quase empírica de seleção, torna-se de capital importância dotar os intervenientes no processo de uma ferramenta de

rastreio que permita em qualquer fase da sua sequência, identificar de forma inequívoca, qual a metodologia de seleção e adequabilidade, assim como despistagem de eventuais não conformidades. Esta metodologia – controlo de qualidade - permitirá sem dúvida, dotar também esta atividade de ferramentas essenciais para o rastreio da patologia associada à utilização da pedra natural, como material de revestimento.

Esforços têm vindo a ser envidados, em Portugal, através da participação ativa de várias entidades ligadas ao setor como a CEVALOR, LNEG, IGESPAR, e um vasto leque de empresas do ramo, representadas pela ASSIMAGRA.

Em 2006, iniciaram-se as diligências tendo em vista a criação do Cluster da Pedra Natural, sendo que os seus objetivos visavam essencialmente suprir necessidades associadas ao marketing, à internacionalização e à criação de plataformas logísticas na União Europeia. Uma clara aposta na qualificação e formação de recursos humanos e especialização em produtos não *standard*. Desde aí, vários acordos estratégicos têm vindo a ser estabelecidos entre várias empresas, entidades e parcerias, tendo em vista o reconhecimento público da entidade Cluster da Pedra Natural.

Hoje, o reconhecimento público desta entidade é uma realidade através da Associação Valor Pedra – Entidade para a gestão do Cluster da Pedra Natural, cujos objetivos específicos se encontram identificados na aposta da diferenciação, inovação, cooperação e aproveitamento de recursos ambientalmente sustentáveis.

Metas de produtividade, reforço da participação nacional no mercado exterior, a obtenção da certificação da Pedra Natural Portuguesa e a creditação da organização “Stone PT”, são as próximas metas a atingir. (Carvalho, Jorge M.F., 2012).

A organização “Stone PT” tem como principal desafio afastar a pedra da sua atual imagem, aproximando-a da contemporaneidade e qualidade, integrando a estratégia de eficiência coletiva do Cluster da Pedra Natural. A “Stone PT” certifica as características físico-mecânicas, vitais para a adequada aplicação e dimensionamento de cada tipo de pedra, independentemente da forma em que sejam comercializadas e incluindo as transformadas, sendo que a certificação do produto permite de forma simples e eficaz reproduzir a sua conformidade com determinada especificação transversal à origem da extração, transformação e

conhecimento relativamente à adequabilidade da utilização de cada tipo de pedra, nas diferentes utilizações ou requisitos do utilizador.

Ações como a “Global Stone Congress 2012”, que decorreu em Junho de 2012 em Borba, têm dado relevo ao setor da pedra natural, tendo trazido durante os cinco dias de duração, mais de 16 países a debater o tema.

Neste enquadramento, e com o compromisso de destaque que a pedra natural portuguesa pretende assumir, é fundamental suportar todas as questões numa base de rigor e conhecimento lhe darão protagonismo e valor acrescentado. Estando cada vez mais exposta e vulnerável a questões técnicas de rigor, é fundamental afirmar capacidade de resposta. A possibilidade do rastreio à patologia, poderá assumir também aqui, um papel de destaque. Pois, não obstante de em muitos casos a identificação de cada uma das formas de degradação ser de difícil perceção, sendo frequentemente e vulgar a coexistência de diferentes formas de patologia numa mesma peça, certamente, que, neste enquadramento, sairá reforçada esta especialidade ou seja, a necessidade de aprofundar o conhecimento das causas, detetar as condicionantes e promover medidas preventivas e corretivas compatíveis com um material natural, é um desafio, dado a pedra natural se encontrar em constante adaptação ao meio onde está inserida.

É assim essencial um estreito e incessante rastreio que englobe todo o processo:

- Extração;
- Seleção;
- Transformação;
- Dimensionamento e prescrição;
- Aplicação;
- Conservação/manutenção.

Todos os intervenientes devem dotar as opções de escolha através de sólidos conhecimentos éticos e técnicos, não podendo ser colocadas em causa as premissas que garantem a longevidade de um material natural de elevada nobreza.

Uma prescrição ou aplicação menos correta poderá comprometer por períodos de tempo alargados a sua utilização. Urge dar primazia à escolha baseada em condições de utilização e conhecimento técnico através da sua caracterização sistemática, complementada invariavelmente pelo legado histórico tradicional no

conhecimento destas matérias, pese embora, muitas vezes ajuizado em conceitos empíricos.

De acordo com o quadro normativo, a Diretiva dos Produtos de Construção (DPC) 89/106/CE de 21 de Dezembro de 1988 estabelece que os produtos a serem incorporados em obra devem estar aptos ao uso a que se destinam, por forma a permitir que também as obras cumpram os objetivos da referida diretiva. Parâmetros como a resistência mecânica, a estabilidade, a segurança contra incêndios, a higiene, a segurança, o ambiente, a utilização, o ruído e eficiência energética, vieram a ocupar lugar de destaque.

Esta diretiva modificada pela diretiva 93/68/CEE de 22 de Julho de 1993 e transposta para o direito nacional pelo Dec. Lei nº113/93, de 10 de Abril 1993, devidamente complementada pelas normas harmonizadas, veio a traduzir-se na livre circulação de produtos de construção, no seio da Comunidade Europeia. A vantagem de comercialização no seio da União Europeia aliada à marcação CE dos produtos de construção veio a revelar-se uma vantagem inegável. A pedra natural não foi exceção e apresentam-se no quadro 5 as normas aplicáveis neste âmbito (produto).

Produto	Normativa
Lajes de pedra natural para pavimentos exteriores - Requisitos e métodos de ensaio	NP EN 1341:2004
Cubos e paralelepípedos de pedra natural para pavimentos exteriores - Requisitos e métodos de ensaio	NP EN 1342:2004
Guias de pedra natural para pavimentos exteriores - Requisitos e métodos de ensaio	NP EN 1343:2005
Produtos de pedra natural - Placas para revestimento de paredes - Requisitos	NP EN 1469:2006
Produtos de pedra natural - Ladrilhos modulares - Requisitos	NP EN 12057:2006
Produtos de pedra natural - Placas para pavimentos e degraus - requisitos	NP EN 12058:2006
Ardósias e produtos de pedra para coberturas e revestimentos descontínuos. Parte 1: Especificação dos produtos	NP EN 12326-1:2005 / ERRATA Fev:2006

Quadro 5 – Normas de produto aplicáveis à pedra natural

Para obter a marcação CE em pedra natural, e caso ainda não esteja caracterizada, listam-se em seguida os procedimentos a realizar.

- Necessidade de elaboração de ensaios do tipo inicial, caso a norma seja aplicada pela 1.<sup>a</sup> vez, no início de produção de um novo tipo de pedra, ou quando ocorram alterações significativas da matéria-prima visíveis sem meios auxiliares de observação, ou mesmo modificações significativas nos resultados do controlo da produção em fábrica;
- Implementar sistema de controlo em fábrica;
- Executar ensaios de controlo de produção.

O valor da pedra natural não passa só pela particularidade da sua textura, tonalidade, padrão, embora infelizmente, sejam maioritariamente estes os fatores determinantes do seu valor comercial. Segundo o geólogo A. Casal Moura - 2005, é tipificada pela sua cor, textura, composição mineralógica, pelo valor dos seus índices físicos (massa volúmica aparente e grau de absorção de água), e pela sua resistência mecânica à compressão, traduzindo estas um comportamento específico para cada tipo litológico.

Estas características revelam principal importância na avaliação da aptidão destes materiais quando confrontados com diferentes tipos de utilização. Será então sensato salientar que muitas das alterações estéticas e funcionais indesejáveis que se manifestam numa obra em pedra natural, não devem ser de imediato imputadas aos materiais utilizados, porque na maioria dos casos resultam de uma escolha inadequada ou mesmo de opções de reparação, assentamento ou manutenção incorretos. Esta é uma realidade que penaliza fortemente a pedra natural como revestimento, criando preconceitos à sua utilização.

Numa perspetiva de “qualidade total”, pressupõe-se três tipos de objetivos (Lopez-Mesones, 2002):

- O conhecimento das propriedades da pedra por intermédio de testes laboratoriais;
- O estabelecimento de procedimentos para o controlo do fabrico, de tal modo que os valores característicos das propriedades dos produtos possam ser garantidos estatisticamente;
- Definição de procedimentos para a receção dos produtos finais e critérios de aceitação/rejeição dos lotes fornecidos.

Em complemento aos três objetivos anteriormente descritos, apensa-se a possibilidade de rastreio eficiente na identificação rigorosa da patologia associada quando este material natural é utilizado para revestimentos, não obstante de também outras atividades adjacentes, necessitem do mesmo tipo de registo, tais como as bases de assentamento e materiais utilizados.

Tirando partido das valências associadas ao controlo de qualidade mitigar-se-ão certamente os constrangimentos associados a esta problemática.

## **2.5. Reconhecimento do problema associado à escolha de pedra para revestimento**

Mais importante que o controlo que se possa efetuar, é a assunção e o reconhecimento de que nem sempre a escolha dos materiais é devidamente acautelada. Infelizmente, é comum a escolha de materiais de forma aleatória sem qualquer enquadramento ao local, tipo de utilização, adequada manutenção e ações de manutenção e conservação. Esta é uma realidade atual e abrangente que, no caso das pedras calcárias, se reveste de primordial importância.

Não seria de esperar que em pleno século XXI, ainda subsistissem dúvidas quanto à aplicabilidade de materiais que têm um legado histórico milenar. Recorde-se algumas passagens que remontam ao ano 101- 44 a.C.:

“(...) as pedras que não são duras têm como vantagem trabalharem-se facilmente e têm bastante utilidade desde que sejam utilizadas em locais cobertos, e se forem aplicadas no exterior, o gelo e as chuvas transformam-nas em poeira e se aplicadas em edifícios próximos do mar, a salinidade desgasta-as e o calor excessivo chega mesmo a deteriora-las (...).– In Obra Vitruviana - “De Architecture” (tradução Helena Rua et al., II volume).

Apesar de se tratar de uma obra milenar é, sem dúvida, um tema atual, sendo constantemente, descurado por parte de técnicos e profissionais. Muitas vezes, as questões estéticas são amplamente priorizadas perante as especificações técnicas, que, aliadas a uma deficiente execução, tornam transversal a responsabilidade dos vários intervenientes, não obstante também a eventual perda de qualidade de algumas jazidas.

Ainda se apresenta difícil, a sensibilização para promover a escolha e manutenção adequada de alguns materiais, pois apesar dos esforços e da consciencialização para esta problemática, a pedra natural ainda é um claro exemplo dessa limitação.

### **3. REVESTIMENTO EM PEDRA CALCÁRIA**

#### **3.1. Enquadramento**

Caracterizados por apresentarem uma grande amplitude de características tendo em conta as suas distintas unidades sedimentares, as pedras calcárias apresentam-se como uma opção recorrente de material de revestimento. Neste sentido, é cabido documentar esta eleição e baseá-la em fundamentos técnicos que a possam legitimar.

#### **3.2. Características mineralógicas e químicas**

Os calcários portugueses são constituídos quase na sua totalidade por carbonatos: calcite  $\text{CaCO}_3$ , e dolomite  $\text{CaMgCO}_3$ , com exceção das brechas, onde a dolomite ocorre com bastante abundância. Pontualmente ocorrem outros minerais como o quartzo, sílica sob a aforma de sílex (Carvalho, Jorge et al, 2001). Óxidos de ferro produzem a coloração vermelha e laranja que se conhece em alguns tipos de formações calcárias (Chacon, Mark A., 1999).

A vasta composição mineralógica destas formações repercute-se na sua composição química que se traduz numa versatilidade que vai além na sua utilização na indústria das rochas ornamentais (Carvalho, Jorge et al, 2001).

Ainda que fora do âmbito do estudo, será de referir a ampla utilização transversal a inúmeras áreas como a siderúrgica, química, vidro, agricultura, proteção ambiente e construção. A presença de argilas é a impureza mais comum nas rochas carbonatadas assim como a sílica sob a forma de areia, fragmentos de quartzo e em estado combinado como feldspato, mica, talco e serpentinito, produzem efeitos bastante nocivos ao calcário. De igual modo os compostos de enxofre e fósforo (sulfatos, fosfatos) são impurezas prejudiciais aos calcários, quando o seu uso está associado à indústria metalúrgica (Sampaio, João Alves et al, 2008).

#### **3.3. Características físico-mecânicas**

Conforme anteriormente referido, os calcários apresentam características de amplitude considerável, tendo com consequência a dificuldade em antecipar a sua performance como grupo (Chacon, Mark A., 1999). Muito para além da simples análise da superfície, ainda que complementada pelo conhecimento relativo à sua composição mineralógica ou através de simples observação da sua textura e coloração, é essencial complementar essa informação através de estudos

petrográficos mais aprofundados, através da execução de ensaios físico-mecânicos, cada um deles com objetivos específicos. Este tipo de ensaios, permitem dotar o decisor das ferramentas necessárias para uma preceituação correta quanto à opção por determinado tipo de pedra e conjuga-los com o tipo de contexto onde irá estar inserida, tipo de esforços e grau de exposição a que irá estar sujeita. Em todas as regiões de Portugal produtoras de rochas ornamentais, foram recolhidas amostras que após sujeitas a ensaios de índole petrográfica, química e físico-mecânica devidamente normalizados, deram origem ao Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas publicado pelo ex-Instituto Geológico e Mineiro. Este catálogo encontra-se organizado por fichas unitárias por tipo de pedra, como de um cartão de identidade se tratasse. Cada uma das fichas apresenta uma imagem à escala 1:1 da rocha ornamental em causa, seguida da localização e características gerais da exploração, do seu enquadramento geológico, descrição macroscópica, características físico-mecânicas, microscopia, análise química e utilização recomendada. Apresenta ainda uma listagem de fornecedores e eventuais casos de estudo elucidativos de utilização e valências da pedra natural em análise.

Como nota crítica, e apesar do campo referente à utilização recomendada ser elucidador, é bastante genérico e claramente insuficiente como justificação de escolha. Não é abordado o tipo de exposição a determinadas condições, tais como a humidade, o ambiente marinho, ambiente seco ou mesmo o ambiente químico agressivo que combinados com ações de gelo-degelo, se revestem de singular importância.

Atesta-se assim, que grande parte dos calcários que afloram em Portugal, exhibe características físico-mecânicas compatíveis com a utilização para revestimentos de paredes e pavimentos. Atente o bom senso e conhecimento sustentado na sua seleção, execução e manutenção.

O quadro 6 exhibe o tipo de ensaios efetuados, normativa aplicável e algumas observações quanto à importância da sua execução para determinado tipo de aplicação.

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA PEDRA NATURAL			
Ensaio	Identificação	Normativa	Observação
Dimensionais	Determina dimensões	EN 13373	Dá a conhecer características dimensionais (espessura, planeza, esquadria de faces vistas, dimensão de orifícios para fixação de ancoragens).
Mecânicos	Resistência à compressão uniaxial	EN 1926	O conhecimento deste parametro é essencial, sempre que a pedra tenha que suportar cargas elevadas, quer durante a fase de transporte e armazenamento quer durante a sua utilização. Reveste-se de primordial importância se se tratarem de peças onde actuem cargas verticais. Por exemplo colunas.
	Resistência à flexão sob carga centrada	EN 12372	Essencial para identificação de rochas que ficam sujeitas a solicitações de flexão (bancadas e degraus de escadas). Em revestimentos de fachadas por fixação mecânica (ancoragens). Para dimensionamento de espessura de acordo com utilização.
	Determinação de energia de rutura	EN 14158	A determinação da energia de rutura é fundamental para todas as rochas que se destinem a ser utilizadas em superfícies horizontais sujeitas ao impacto frequente ou ocasional de objetos. Revestimentos de pavimentos, degraus, bancadas.
Capacidade de absorção de água	Determinação da absorção de água à pressão atmosférica	EN 13755	A absorção de água apresenta uma correlação direta com a porosidade efectiva, sendo um índice determinante na escolha de um material que em pleno uso fique sujeito ao contacto com a água.
	Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade ( <i>aplicável quando a porosidade aberta for maior ou igual a 1%</i> )	EN 1925	Este coeficiente é função da velocidade com qua a absorção se processa. Determina a adequabilidade de determinado tipo de pedras em exteriores ou em ambientes húmidos.
Durabilidade	Resistência ao gelo	EN 12371	De acordo com o tipo de ensaio, determinam-se as variações sofridas na estrutura e no volume assim como o efeito de gelo/degelo e sua implicação no desempenho flexão, compressão, choque térmico. Estes índices têm relevante importância quando a rocha é aplicada em exteriores e em zonas de invernos rigorosos e quente no verão.
	Resistência ao envelhecimento por choque térmico	EN 14066	Identificam-se oxidações, alterações de cor, manchas, fissuras e perdas de material.
	Resistência ao desgaste	EN 14157	Identica rochas mais resistentes para utilização em pavimentos e em locais públicos.
	Resistência ao escorregamento	EN 14231	Este conhecimento permite dimensionar pisos com circulação segura.
Outros	Determinação da massa volúmica real e aparente e porosidade total e aberta	EN 1936	Identifica o grau de compactidade e a natureza da pedra, assim como sistema capilar da pedra.
	Determinação do módulo de elasticidade dinâmico	EN 14146	Torna mensurável a relação entre tensão aplicada e deformação, num contexto elástico. As rochas sedimentares e muito porosas apresentam módulos de elasticidade baixos.
	Descrição petrográfica	EN 12407	Realça características que influenciam o comportamento físico-mecânico da rocha, assim como estabelece critérios para determinar a sua origem.
	Determinação da velocidade de propagação do som	EN 14579	Permite fazer triagem não destrutiva para aferição da continuidade de provetes de ensaio.

Quadro 6 – Ensaio de caracterização da pedra natural - adaptado

### 3.4. Pavimentos em pedra calcária

A utilização da pedra calcária, como material de revestimento, é devida, essencialmente, às suas características de durabilidade e nobreza, pese embora a grande amplitude de valores associados às suas características físico-mecânicas conforme identificadas no capítulo anterior.

A diversidade de litologias disponíveis, aliadas à qualidade que apresentam, e ajuizadas através de estudos de caracterização laboratorial, são fatores determinantes que suportam a eleição deste material natural como revestimento de paredes, escadas e pavimentos, exteriores ou interiores, conforme justificam as figuras de 10 a 13.



Fig. 10 – Revestimento de paredes, pavimentos e escadas em pedra lioz amaciado



Fig. 11 – Revestimento de pavimentos e escadas em pedra azul Valverde amaciado



Fig. 12 – Revestimento de pavimentos e escadas em pedra de vidro de Moleanos



Fig. 13 – Paredes e pavimentos em pedra de azulino Cascais, brecha pérola e Alpinina

Além das características físico-mecânicas cabe ao decisor a tarefa de reunir além destes elementos, outros, que se apresentem tão ou mais condicionantes ao uso da pedra calcária como material de revestimento, a saber:

- Garantia de controlo de qualidade no processo produtivo, desde a extração à aplicação e respetiva marcação CE;
- Conhecer o tipo de utilização futura assim como possibilidade de manutenção;
- Executar ensaios expeditos quanto ao tipo de argamassas de assentamento e preenchimento de juntas a utilizar;
- Ensaios de molhagem às amostras selecionadas;
- Acautelar a existência de águas subterrâneas ou superficiais assim como dimensionamento de caminhos dedicados à sua evacuação;
- A necessidade absoluta de visita a aplicações semelhantes e já em plena utilização;
- Conhecimento e identificação da terminologia associada à alteração e degradação dos materiais pétreos e causas associadas;
- Possibilidade de implementação de medidas de mitigação de eventual patologia que venha a manifestar-se;
- Preconizar plano de manutenção adequado.

Contudo, como de um revestimento se trata, será importante ter presente o tipo de exigências que lhe são devidas de modo a garantir que a sua escolha é adequada e que ao longo da sua vida útil o seu comportamento é consentâneo com o objetivo inicialmente perspetivado. Neste caso, centremo-nos no revestimento de piso.

Esclareça-se então o que se pretende de um revestimento de piso e quais as exigências que se lhe colocam.

### 3.5. Exigências funcionais de revestimentos de piso

De acordo com Nascimento, 2007, as exigências funcionais aplicáveis a revestimentos de piso, apresentam-se distribuídas em três grupos (quadro 7) que aglomeram preocupações associadas à integridade física e conforto de quem usufruí dos espaços assim como garantia de possibilidade de manutenção da qualidade do revestimento.

EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS DE REVESTIMENTO DE PISO				
Exigências de Segurança	Riscos correntes	Resistência mecânica (cargas permanentes / sobrecargas de utilização / deformações )		
		Segurança na circulação		
	Riscos não correntes	Segurança contra riscos de incêndio	Reação ao fogo	Limitação aos riscos de escorregamento
				Ausência de obstáculos
				Combustibilidade
				Infamabilidade
Velocidade de propagação de chama				
Potencial calorífico dos materiais				
Opacidade e toxicidade de gases e fumos				
Exigências de Habitabilidade	Estanquidade			
	Salubridade	Higiene normal		
		Higiene especial		
		Pureza do ar ambiente		
	Conforto higratérmico	Isolamento térmico		
		Secura das superfícies		
	Conforto acústico	Isolamento sonoro à transmissão de ruídos de percussão		
		Absorção sonora		
	Conforto na circulação	Planeza e horizontalidade do piso		
		Resiliência do piso		
	Conforto visual	Rectiliniaridade das arestas		
		Ausência de defeitos superficiais		
		Planeza e horizontalidade do piso		
		Uniformidade de cor		
		Uniformidade do brilho		
Conforto táctil	Textura do piso			
	Sensação de calor ou frescura			
	Ausência de constrangimento fisiológico ou de desconforto devido à electricidade estática			
Exigências de Durabilidade	Durabilidade intrínseca			
	Durabilidade em função do uso	Resistência ao desgaste		
		Resistência ao punçoamento		
		Resistência ao choque		
		Resistência ao arrancamento		
		Resistência ao cigarro acesso		
		Comportamento sob ação da água e do vapor de água	água no piso	
			água ascendente	
		Comportamento sob accção dos produtos químicos	produtos domésticos	
	produtos de limpeza			
Limpeza, conservação e reparação	Facilidade de limpeza			
	Facilidade de conservação			

Quadro 7 – Exigências funcionais de revestimento de piso [adaptado de NASCIMENTO, José Martins – Exigências Funcionais de Revestimentos de Piso – 3ªed. Lisboa - LNEC 2007]

É de salientar que as exigências de habitabilidade se destacam como prioritárias sobre as restantes, uma vez que nestas estão implícitas opções de escolha de acordo com o alvo estabelecido e tipo de utilização.

Após identificados os objetivos associados à escolha de um revestimento de piso no que concerne à segurança, habitabilidade e durabilidade é essencial identificar igualmente e de forma inequívoca a terminologia associada às várias formas de alteração e degradação que um revestimento pétreo pode apresentar.

### **3.6. Patologia de materiais pétreos**

A água é o denominador comum e o veículo transmissor da patologia associada aos materiais pétreos. Através dela, poder-se-ão combinar fenómenos de ação biológica, agressões químicas, alterações mecânicas, térmicas, que *per si* ou concomitantemente, de forma mais ligeira ou agressiva, potenciam o aparecimento da patologia nas pedras naturais (Aires-Barros, Luís 2001).

Esta característica de interação entre pedra e água, coadjuvada por omissões de conceção ou falhas de execução, acrescida de frugal ou inadequada manutenção, potenciam o aparecimento precoce da patologia na pedra.

Sendo na maioria das vezes possível identificar a patologia a olho nu, subentende-se que a avaliação feita, depende, em grande parte, da perceção e qualidade técnica do observador. Esta situação conduz muitas das vezes a avaliações erróneas e prescrições de correção desadequadas. Uma avaliação técnica eficiente, coadjuvada por uma correta avaliação laboratorial, faz toda a diferença nos resultados finais obtidos, muitas vezes bastante dispares do que seria espectável.

Dada a diversidade de designações adotadas pelos especialistas na caracterização patológica da pedra, sejam eles nacionais ou internacionais, têm vindo a ser adotados critérios para a sua identificação e com eles promover uma franca melhoria na uniformização dos termos utilizados.

Encontram-se assim, listadas 28 formas de alteração e degradação da pedra - Henriques, Fernando M. A. et al (2011).

Dada a ténue transição entre algumas das definições, optou-se aqui por destacar apenas aquelas cuja aplicabilidade aos revestimentos de pavimento em pedra natural se aplicam:

- ✓ Alteração Cromática – variação de um ou mais parâmetros definidores da cor. Pode apresentar-se com aspetos diversos e atingir zonas amplas ou localizadas.
- ✓ Mancha – alteração cromática numa zona circunscrita e contrastante com as zonas vizinhas.
- ✓ Colonização biológica e vegetação – estrato superficial geralmente fino, de natureza biológica e coloração diversa, do tipo algas e líquenes e plantas de ordem superior.
- ✓ Incrustação – depósito estratiforme, compacto e em geral aderente ao substrato, composto por substâncias inorgânicas ou de natureza biológica.
- ✓ Eflorescência – formação de agregados cristalinos superficiais, geralmente de fraca coesão e cor clara.
- ✓ Criptoflorescência - formação de agregados cristalinos que ocorrem abaixo da superfície provocando bolhas ou destaques.
- ✓ Esfoliação – divisão múltipla em lâminas finas paralelas entre si.
- ✓ Lascagem – destaque de fragmentos de extensão lateral reduzida e espessura centimétrica, sub-paralelos à superfície.
- ✓ Deformação – termo genérico que se aplica a qualquer transformação traduzida pela variação da distância entre pontos do corpo considerado.
- ✓ Fratura – superfície de rotura que divide o objeto em partes distintas, podendo implicar o afastamento recíproco, das partes fraturadas.
- ✓ Fissura – caso particular de fratura em que pelo menos uma das extremidades não atinja o contorno do objeto em questão.
- ✓ Junta aberta – zona de descontinuidade entre dois elementos com perda do material de refechamento utilizado.
- ✓ Desagregação granular – perda de coesão que se traduz pelo fácil destaque de partículas de dimensão da areia mesmo com esforços mecânicos de fraca intensidade.
- ✓ Picadura (punçoamento) – degradação que se manifesta através da formação de cavidades tendencialmente esféricas ou cilíndricas com dimensões milimétricas.
- ✓ Erosão (desgaste) – termo genérico caracterizado pela perda de massa de superfície do material. Frequentemente assume uma morfologia contrastante com zonas vizinhas, designando-se então por erosão diferencial.
- ✓ Lacuna – ausência de material resultante de queda ou perda

Nas figuras abaixo (14 a 28) encontram-se exemplificadas a maioria das formas de alteração e degradação associadas à pedra, sem que sejam tidas em conta, para já, as causas associadas a tais fenómenos e processos que originaram a sua ocorrência.

É de ressaltar a dificuldade em certas situações, em identificar a terminologia associada a perda de material, uma vez que na maioria das vezes, termos como: esfoliação, lascagem e placa podem ocorrer simultaneamente. É de registar também a simultaneidade de fenómenos distintos de alteração numa mesma peça, sendo que na maioria das vezes surgem como consequência de outros.



Fig. 14 – Alteração cromática - pavimentos de Lioz, azul Valverde e vidro de Moleanos



Fig. 15 – Colonização biológica - pavimento em Lioz



Fig. 16 – Colonização biológica, vegetação - patim e degraus em vidro de Moleanos



Fig. 17 – Incrustações e manchas - escada em vidro de Moleanos

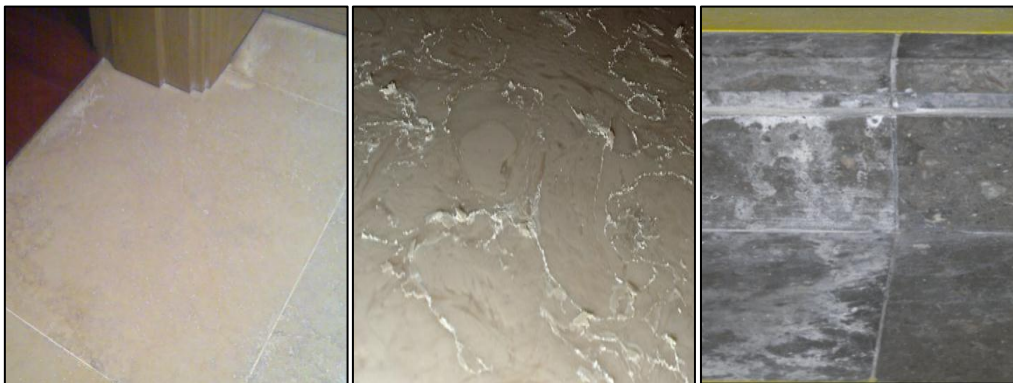


Fig. 18 – Eflorescência – pavimento em Lioz e degrau de escada em azul Valverde



Fig. 19 – Esfoliação, lascagem - murete em azul Valverde

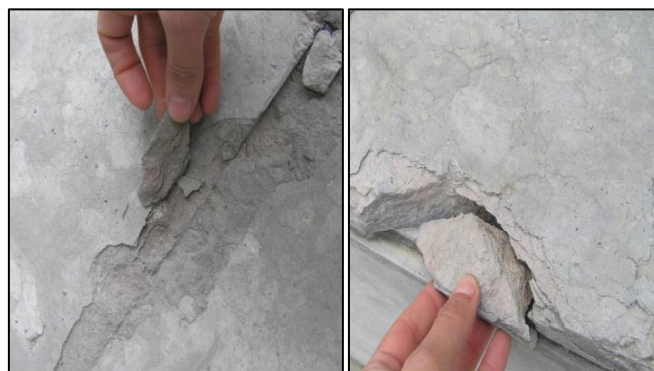


Fig. 20 – Esfoliação, lascagem - pavimento e capeamento em azul Valverde



Fig. 21 – Deformação e fratura - pavimento exterior em azul Valverde



Fig. 22 – Junta aberta, deformação e lascagem – capeamento em azul Valverde



Fig. 23 – Desagregação granular – pavimento em azul Valverde



Fig. 24 – Erosão superficial e picadura - cobrador de degrau em vidro de Moleanos



Fig. 25 – Erosão diferencial - pavimento em azul Valverde amaciado



Fig. 26 – Eflorescência, deformação e lascagem - paramento vertical em azul Valverde



Fig. 27 – Mancha – consequência de fixações metálicas não tratadas em azul Valverde



Fig. 28 – Mancha e criptoflorescências – pavimento em azul Valverde amaciado

Atendendo ao impacto que estas alterações provocam aos utilizadores finais, quer quando associadas à segurança, acuidade visual ou mesmo à sua integridade física,

é fundamental desenvolver uma área de estudo associada à patologia e interpretação do processo que originou a sua formação, tendo como objetivo oferecer um contributo pró-ativo e não reativo, para a melhoria da qualidade da construção, no que concerne à área dos revestimentos em pedra natural e em todas as suas vertentes – conceção, execução e exploração (conservação/manutenção).

A patologia associada à conceção/projeto é por princípio simples de identificar (RICARDO, Sandra, 1992), pois com base nos elementos que o compõem um projeto (peças escritas e desenhadas), é possível recriar cronologicamente todo o processo e identificar as respetivas causas. No limite, poderá sempre passar por omissão, má opção, ineficaz pormenorização de assentamento e poucos critérios de controlo de qualidade.

Quanto à patologia associada à execução e exploração (utilização/manutenção), o processo é de mais difícil identificação, pois, a falta de registos e informação detalhada contribui fortemente para uma relação causa-efeito que na maioria das vezes não é imediata e conduz a falsas avaliações.

Mais uma vez, à semelhança do controlo de qualidade associado à extração, seleção e transformação é fundamental a garantia do controlo de qualidade no sistema de revestimento para além do próprio revestimento.



## **4. SISTEMA DE REVESTIMENTO DE PISO EM PEDRA NATURAL**

### **4.1. Enquadramento**

Quando se fala em revestimento de piso, é frequente que a preocupação principal se detenha à superfície do material eleito. Como tal e para evitar essa ligeireza de critério, será prudente adotar a designação - sistema de revestimento – a própria palavra – sistema - reporta à necessidade de incluir outros elementos distintos do revestimento em si no processo de decisão e de acordo com as exigências funcionais que lhe estão associadas. Desta forma é indissociável o revestimento final de todos os outros componentes que operam como uma estrutura organizada, com comportamento próprio, distinto e que interagem entre si. Existe assim, uma estreita relação entre o revestimento superficial e a base onde este assenta, sendo essa relação materializada neste caso, através da colagem. Certo é que no final, esse sistema terá de absorver todas as diferenças e tensões geradas no seu conjunto, para que o seu sucesso não venha a ser comprometido e que cumpra cabalmente as funções para que foi destinado.

### **4.2. A seleção da pedra – recomendações**

A regra é basilar e deve ser a premissa presente: nunca esquecer que de um material natural se trata. Por este motivo, devem ser acautelados critérios rígidos na seleção e escolha da pedra de revestimento e devidamente enquadrados no tipo de utilização que se pretende.

Não obstante que todo o processo de extração, fabrico e transformação ser devidamente acompanhado através de um rigoroso controlo de qualidade, não devem ser, igualmente menores as preocupações em obra. A seleção e aceitação da pedra natural devem seguir procedimentos rígidos quanto ao juízo de aceitação *in loco*:

- Deve ser apresentada uma amostra representativa do fornecimento e constituída por quatro peças (mínimo), por tipo de pedra e com dimensão suficientemente representativa face à real dimensão da futura aplicação. Desta forma, minimizam-se futuras rejeições por discrepâncias de acabamento, aspeto e tonalidade;
- As peças a aplicar não devem apresentar defeitos naturais tais como lesins, abelheiras, fissuras, vergadas ou outro tipo de danos que prejudiquem o seu

comportamento futuro, quer do ponto de vista estético, quer de resistência (figura 29);

- Deve ser acautelada a ausência de riscos, lascados, mossas e arestas esmialhadas;
- Sendo o assentamento realizado através de adesivos, o tardo das peças deve ser amaciado ou de rugosidade muito reduzida para uma melhor aderência;
- Antes da aplicação, deve ser feita uma preparação e distribuição adequada das peças aos locais, antecedidos de especial atenção ao seu armazenamento.



Fig. 29 – Exemplo de peças a rejeitar - pedra azul Valverde e Lioz amarelo

### **4.3. Aplicação - recomendações**

#### **4.3.1. Base de assentamento**

A base de assentamento preferencial de qualquer revestimento horizontal é, de um modo geral, uma base monolítica tão homogênea quanto possível e que ofereça uma resistência mecânica adequada aos esforços que lhe irão ser transmitidos.

O revestimento de pavimento tem por função, entre outras, a otimização do comportamento das bases de assentamento em relação a ações mecânicas, químicas e/ou biológicas, incrementando características que alteram a sua transmissibilidade sonora, térmica, elétrica entre outras, devendo proporcionar-lhe melhores condições de limpeza e higiene e simultaneamente conferir-lhe um aspeto estético agradável, confortável e seguro.

Frequentemente se repercutem nos revestimentos de superfície, os movimentos de natureza estrutural devido a fenómenos de flexão ou devido a assentamentos diferenciais das fundações, provocando fenómenos de fissuração ou mesmo fracturação, do revestimento de superfície (figura 30).



Fig. 30 – Assentamento diferencial de fundação com repercussões no revestimento

Correntemente as bases de assentamento dos revestimentos de piso são constituídas por lajes de betão armado (caso se tratem de pisos elevados) ou massames térreos.

Os massames encontram-se intimamente ligados com os terrenos existentes, sua constituição, grau de compactação e eventual existência de águas subterrâneas. Atendendo a que se trata de superfícies em que o acabamento não é executado quando da sua betonagem, exceção feita a alguns casos em que própria laje ou massame são o revestimento final como é o caso dos pavimentos em betão afagado (figura 31), é habitualmente necessário proceder à sua regularização através de betonilhas ou camadas de enchimento leve de acordo com as altimetrias definidas em projeto.



Fig. 31 – Acabamento na própria laje quando da execução da betonagem

#### 4.3.2. Betonilha de regularização

Sobre este tema, e no âmbito do estudo em causa, importa referir que antes da execução da betonilha de regularização e atendendo a que é executada numa fase bastante posterior à presa do betão da laje, devem ser acautelados os seguintes cuidados:

- A superfície não deverá apresentar-se lisa, caso se verifique tal situação, dever-se-à proceder a sua picagem, sendo uma rugosidade uniforme uma condição de boa aderência;
- Devem ser removidas todas as leitadas e restos de betão;
- Deverá apresentar-se isenta de gorduras, poeiras e quaisquer materiais estranhos que possam prejudicar a ligação que se pretende;
- Antes da aplicação da betonilha, a superfície deverá ser abundantemente lavada com água potável, devendo esta permanecer no seu leito o tempo necessário para humedecer o betão. Desta forma, não será segregada a água da amassadura;
- Antes da aplicação da betonilha, a água empoçada deverá ser removida e/ou espalhada. Posteriormente e com auxílio de um escovão será aplicada uma aguada forte de cimento que deverá receber a betonilha de imediato. É de salientar que esta aguada poderá ser substituída por produtos já preparados, disponíveis no mercado e com esta função;
- A dosagem recomendada para uma betonilha que receba posteriormente um revestimento em pedra é 1:4;
- Deverão ser respeitadas todas as juntas de dilatação estruturais.

Sendo a betonilha o suporte para a colagem do revestimento, é essencial que seja cauto o seu desempenho, através da execução prévia de mestras em número suficiente e que garantam um correto nivelamento. Habitualmente é aceitável uma tolerância de 3 mm de flecha, aferida através de uma régua de 2 m de comprimento. A sua espessura dever-se-á apresentar entre os 25 mm e os 40 mm. Espessuras superiores, devem ser colmatadas através da aplicação prévia de outro tipo de materiais de enchimento, como por exemplo o betão celular, ou betão de agregados leves (argila expandida ou granulado XPS). Será importante referir também, que caso a base seja composta por tela impermeabilizante, a espessura da betonilha não deverá ser inferior a 50 mm (figura 32).



Fig. 32 – Aplicação de betão celular, betonilha e tela impermeabilizante (PVC)

### 4.3.3. Colagem

Embora ainda se utilizem argamassas tradicionais para o assentamento de revestimentos de piso, no caso dos materiais minerais não é recomendada a sua utilização caso não se verifique uma correta secagem das massas antes do preenchimento das juntas. Frequentemente são utilizados cimentos cola de ligantes mistos, através do método de colagem dupla, pese embora em alguns a sua composição alcalina não seja a mais aconselhável. As resinas já se encontram amplamente utilizadas e conferem maior garantia de sucesso.

À semelhança dos cuidados observados na preparação do suporte para receber a betonilha de regularização, devem também aqui ser acautelados os aspetos de limpeza, ausência de poeiras, químicos, tintas, gorduras ou outros, que impeçam uma correta ligação entre a base e o revestimento:

- As peças devem apresentar-se limpas, isentas de poeiras no seu tardo e secas, exceto se as recomendações do fabricante preconizarem o inverso;
- Não é recomendável de todo, a utilização deste tipo de materiais para resolver problemas de desnivelamento proveniente das camadas inferiores, sendo limitada a sua espessura a 5 mm. Dever-se-á também, conjugar a escolha da cor destes adesivos com a cor do próprio revestimento (figura 33).



Fig. 33 – Assentamento de pedra azulino Cascais polida através de adesivo de cor cinza

Outras preocupações devem ser tidas no assentamento. O revestimento do piso deve passar sempre por baixo do rodapé, ou caso exista, por baixo do revestimento da parede, desta forma evitar-se-ão infiltrações e empoçamento de águas através da junta vertical que se formaria entre o piso e o revestimento da parede.

Além deste cuidado, deve também sempre ser acautelada a dessolidarização entre o piso e os elementos verticais, de modo a não ser criada uma ligação rígida.

Sempre que se tratem de pavimentos interiores, não deve ser descurada a hipótese de existência de humidade por ascensão e caso se trate de um piso térreo, deve ser acautelada a introdução de materiais de isolamento sobre a base de assentamento.

#### 4.3.4. Juntas

Para além das juntas de dilatação estruturais previstas em projeto, que devem sempre ser sempre respeitadas, tratadas e transpostas para a superfície, podendo ser visíveis ou ocultas através de pormenorização adequada, deve também ser dada especial importância a outro conjunto de juntas que têm um papel igualmente vital para o bom desempenho de qualquer sistema de revestimento.

Juntas periféricas de dessolidarização – são juntas com aproximadamente 10 mm de largura e que têm origem na junção do revestimento do pavimento com outros elementos - paredes, pilares, outros revestimentos, ou qualquer outro elemento emergente da superfície. Estas juntas acautelam a dessolidarização entre o piso e o elemento em causa, de modo a não ser promovida uma ligação rígida entre si. Essa dessolidarização pode ser materializada através da utilização de material flexível colocado quando da execução da betonilha de regularização (figura 34). Salienta-se que esta junta não tem necessariamente que ser visível, no entanto é crucial garantir a sua existência.



Fig. 34 – Dessolidarização entre o piso e elementos verticais

Para a sua perfeita funcionalidade, é essencial que a espessura de limpo da parede, permita que o revestimento de piso passe sempre por debaixo do rodapé, ou, caso exista revestimento vertical, por debaixo deste.

Com esta premissa, e no caso das zonas húmidas ou mesmo exteriores, evitar-se-ão infiltrações, aparecimento de manifestações biológicas e acumulação de águas através da junta vertical que se forma entre o piso e o revestimento da parede. Este pormenor reveste-se de primordial importância. Na figura 35, pode observar-se um

pavimento exterior que não avançou o suficiente para evitar a criação de uma junta vertical exposta e consequente patologia.



Fig. 35 – Junta vertical exposta, tendo originado o aparecimento de vegetação

Outra patologia recorrentemente associada a juntas verticais expostas, são as consequentes lacunas resultantes de perda ou queda de material. De acordo com correntes arquitetónicas recentes (que se pretendem originais), adotam-se soluções diferentes, mas cuja funcionalidade é comprometida a muito curto prazo.

Na figura 36, onde se pretendeu dar primazia à existência de um painel de revestimento “limpo” e sem contornos demarcados, prescindiu-se de um pormenor de remate que funciona *per si* e pela sua forma.



Fig. 36 – Pormenor de remate e criação de junta vertical desapropriada

As consequências deste tipo de opções são gravosas, não só para o revestimento exterior adjacente à escada, mas também para o interior, manifestando-se através de infiltrações e bolores. Neste caso não aplicável, atendendo a que se trata de um espaço não acessível.

Daqui resulta que o respeito pela forma, é essencial. (FLORES-COLEN, Inês et al – 2º Simpósio internacional sobre patologia, durabilidade e reabilitação dos edifícios – 2003).

Juntas de dilatação não estrutural – frequentemente estas juntas não são consideradas. Tecnicamente são necessárias devido a fenómenos higrotérmicos, e devem desenvolver-se a cada 5 m a 6 m de aplicação ou a cada 20 m<sup>2</sup> a 35 m<sup>2</sup> de superfície caso se tratem de pavimentos exteriores e interiores, respetivamente. Devem ser materializadas através de uma largura de junta maior ou igual a 5 mm (Silvestre, Brito, 2007), devidamente preenchida com cordão de fundo de junta (em neoprene, por exemplo), sendo conveniente o seu acabamento com um mastique elástico.

Em pavimentos exteriores é fundamental que estas juntas sejam coincidentes com as juntas de esquadramento da betonilha de suporte. Frequentemente aparecem superfícies de pavimento com fissuras equidistantes, substituindo estas, as juntas que não foram antecipadamente preconizadas.

Um projeto e caderno de encargos pouco em detalhes construtivos, má execução ou por exigência arquitetónica, são geralmente os motivos que justificam tal ausência.

A não observância desta premissa origina situações de empolamento e fissuração, ficando comprometidas as exigências de segurança e de habitabilidade reclamadas a qualquer revestimento de piso.

Juntas de movimento ou assentamento – para além da porosidade associada a cada um dos materiais pétreos de revestimento, as juntas apresentam-se como um ponto frágil e vulnerável do sistema. Estabelecem trocas de humidade entre o suporte e o exterior, sendo permeáveis ao vapor de água. Para além desta característica, o material de preenchimento das juntas deve prever, reduzida retração de secagem, trabalhabilidade, boa adesão e capacidade de absorção de deformações evitando a introdução de tensões que possam dar origem a patologia no revestimento. A largura da junta e o tipo de argamassa escolhida para o efeito, é preponderante para a diminuição do módulo de deformação do sistema, sendo recomendável que esta permita sempre um preenchimento superior a 2 mm de largura. Esta espessura deverá ser estabelecida de acordo com o tipo de material a revestir e sua dimensão. De acordo com a Norma Europeia EN 13888:2009 (Ed 2) *Grout for tiles. Requirements, evaluation of conformity, classification and designation*, as argamassas para preenchimento de juntas poderão apresentar-se em base cimentícia ou resina de reação. É banal a utilização de argamassas cimentícias com ou sem agregados para interiores e exteriores, sendo que a utilização de resinas está mais vocacionada para utilizações de maior solicitação ou exposição. As misturas tradicionais não doseadas, são ainda bastante utilizadas, pese embora a

superior qualidade e preferência perante as argamassas não tradicionais. As argamassas de preenchimento tradicionais, são genericamente preparadas a traço 1:2, não havendo controlo na produção, aplicação e condições de cura, conduzindo mais frequentemente ao aparecimento de retração e rigidez, associadas a perda de resistência mecânica do sistema de revestimento assim como do seu aspeto visual, com o aparecimento de manchas de origem salina.

No entanto, por melhor qualidade que se atente na escolha do material de preenchimento de juntas, é fundamental o acompanhamento cabal dos trabalhos por forma a serem cumpridos os requisitos necessários à sua boa execução. A patologia associada às juntas de pavimentos é vasta e tem sempre implicações no seu desempenho.

Mas nem sempre a problemática das juntas está diretamente associada ao material escolhido para o seu preenchimento. Por exemplo, em terraços e pavimentos exteriores impermeabilizados é metodologia corrente a subida da tela impermeabilizante para os paramentos verticais, formando-se uma bacia. Ora sendo as juntas um ponto vulnerável do sistema é óbvia a infiltração de água através delas, formando-se uma toalha de água subjacente e que praticamente nunca evapora. As consequências desta solução são diversas – descolamento, eflorescências, cripto-florescências, envelhecimento e enegrecimento prematuro sobretudo ao longo das juntas. Tal situação pode ser evitada com a criação de uma evacuação suplementar ao nível da impermeabilização, assim como prever a sua adequada pendente (Mamillan, Marc – 1976).

Nas figuras 37 a 40 identificam-se algumas consequências danosas associadas às juntas, sendo evidente o papel decisivo que apresentam no bom desempenho do revestimento e no seu aspeto final.



Fig. 37 – Pavimento exterior em Lioz e azul Valverde - junta aberta e alteração de cor



Fig. 38 – Escada exterior em vidraço de Moleanos - eflorescências e vegetação

Será de realçar que a par dos pavimentos, nas paredes, esta problemática oferece preocupação extrema, podendo inclusivamente colocar em causa a integridade de bens e pessoas – *vide* figura 39, onde se apresenta uma fachada ventilada exterior, revestidos a pedra azul Valverde.

No caso da figura apresentada e por imposição da estereotomia do projeto de arquitetura, apenas a junta horizontal se apresenta demarcada, sendo praticamente inexistente a junta vertical. Como consequência desta orientação, geram-se tensões que o conjunto não absorve, tendo como consequência fenómenos de esfoliação, fissuração e destaque de fragmentos paralelos à superfície do revestimento com significativa extensão lateral, tendo-se deteriorado inclusivamente a ligação às ancoragens de suporte. Neste caso, a exposição solar poente da fachada, também contribuiu fortemente para a patologia identificada.

Este tipo de fenómeno também é bastante recorrente, em platibandas ou muretes extensos, onde por diversas vezes ocorrem alterações por deformação devido à inexistência de juntas de dilatação não estruturais.

No caso dos pavimentos e pelo mesmo motivo, encontram-se igualmente limitadas, as exigências funcionais associadas, nomeadamente a segurança e conforto na circulação assim como comprometida a durabilidade do revestimento.



Fig. 39 – Patologia em elementos verticais por ausência de juntas deformáveis

No exemplo apresentado na figura 40, são notórios os fenômenos de deformação, fratura e estado inicial de lacuna num pavimento exterior.



Fig. 40 – Patologia em pavimento por ausência de juntas deformáveis

É essencial a antecipação da patologia quando se concebem soluções em pedra natural. A par deste cuidado é igualmente essencial preconizar e promover ações de planeamento de manutenção/conservação adequadas e compatíveis com as soluções escolhidas.



## 5. MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO

### 5.1. Enquadramento

A manutenção deve ser encarada como um elemento decisivo na gestão dos edifícios, sendo fundamental abandonar a filosofia associada apenas ao seu custo.

Para um empreendimento com uma vida útil de 50 anos, as despesas relacionadas com as fases de conceção e de execução representam cerca de 20 a 25% dos custos totais, enquanto a fase de exploração e manutenção constituem 75 a 80% desses mesmos custos – Perret, Jean (1995).

É de ressaltar que as operações de manutenção durante a exploração são todas as ações que mitigam a progressiva deterioração dos elementos de construção e que asseguram ao longo da sua vida útil o valor comercial do bem e condições de utilização consentâneas com a qualidade requerida.

### 5.2. Planeamento da manutenção

Apesar da manutenção ser uma fase pós conceção e execução, não pode de todo ser relegada para último plano e muito menos negligenciada, sendo essencial oferecer-lhe especial atenção, não só devido aos custos que lhe estão associados, mas também e acima de tudo, uma perspetiva pró-ativa.

A manutenção deve ser parte integrante de toda a cadeia produtiva, desde a conceção, execução e posterior utilização (FLORES-COLEN, Inês, 2003).

A partir do conhecimento do comportamento de determinado empreendimento em fase de exploração, podem obter-se métricas e informações, que após correto tratamento, caracterização e registo, conduzem a uma melhoria muito significativa na aplicabilidade desse conhecimento. A sua versatilidade permite-lhe oferecer *feedback* a novos projetos.

É portanto fundamental que em fase de conceção, os aspetos da manutenção tenham principal destaque, pois certamente serão minimizadas todas as soluções que obriguem a extraordinária manutenção ou mesmo à sua inviabilidade, conduzindo à substituição integral da solução inicialmente idealizada, com todas as implicações associadas: custos imprevisíveis, alterações no *modus operandi* na utilização dos espaços e degradação visual.

Nas figuras 41 a 43, apresentam-se alguns exemplos em que a conceção negligenciou ou relegou para último plano, as futuras operações de manutenção e/ou durabilidade.

Na figura 41, a solução adotada para grelha de caleira de águas pluviais, em vidro de Moleanos, apresenta-se desapropriada. A sua fragilidade mecânica é incompatível com a necessidade de inspeções e limpezas periódicas.



Fig. 41 – Grelha de caleira de águas pluviais em vidro Moleanos

Na figura 42, o embasamento de um muro exterior revestido a azul Valverde, constantemente submerso num lago artificial, apresenta-se como solução a evitar.



Fig. 42 – Embasamento em pedra azul Valverde submerso em lago artificial

Na figura 43, recaí sobre a estação de Metro de Lisboa (Oriente), onde a escolha de um revestimento calcário (azul Valverde) foi eleito. São evidentes os sinais de desgaste (erosão e eflorescências) em apenas 15 anos após entrada em serviço.



Fig. 43 – Pavimento em azul Valverde amaciado – zona de grande tráfego pedonal

Independentemente da não adequabilidade dos materiais ao fim a que se destinam, e caso estas decisões de projeto fossem analisadas do ponto de vista da sua futura manutenção (plano de manutenção), certamente técnicos experientes colocariam reservas à sua aplicabilidade. O planeamento da manutenção seria mais um elemento mitigador e antecipador de eventuais dificuldades ou gastos futuros nestas matérias.

### **5.3. Otimização da manutenção – algumas sugestões e recomendações**

Para além do planeamento da manutenção (especificação e periodicidade), que é o garante que tudo é equacionado em sede própria e no *timing* correto, apresentam-se algumas sugestões e recomendações que poderão ser acauteladas nas várias fases de um empreendimento tendo em vista a otimização da sua durabilidade e manutenção.

#### **5.3.1. Fase de projeto**

É premente a necessidade de elaborar e implementar um Plano de Manutenção em Fase de Projeto (PMFP), transversal a todas as especialidades que o compõem.

A sua compatibilidade com as soluções escolhidas, complementado com previsão de custos associados à sua exploração e manutenção ao longo da vida útil do empreendimento, deve ser encarada como uma das peças chave do projeto atendendo aos avultados custos associados a esta temática. A existência deste elemento permitiria não só, a otimização das soluções projetadas, mas também a possibilidade de previsão económica das futuras operações de manutenção. Seria certamente o veículo de rastreio e sistematização de procedimentos, que conduziriam à escolha das melhores opções de dimensionamento. Claro está, este seria um documento evolutivo a complementar com o contributo das fases seguintes – execução e exploração.

Apresentam-se em seguida, alguns exemplos de boas práticas associadas à mitigação da patologia e custos associados à manutenção de pavimentos e escadas, revestidos a pedra natural calcária e em fase de projeto.

- ✓ Escolha de materiais com resistência físico-mecânica adequada ao fim a que se destinam, assim como o tipo de acabamento.

Na figura 44, é notório o comprometimento quanto à resistência ao desgaste no patim de escada exterior, onde se terá optado por aplicar vidro de Moleanos (material com menor resistência mecânica) em detrimento da utilização de vidro de Atáija, este aplicado apenas nos cobertores de degraus. É notória a distinta erosão superficial entre as duas superfícies.



Fig. 44 – Patim em vidro de Moleanos e degraus de escada em Atáija creme

- ✓ Correto dimensionamento da espessura das lajes de pavimento para o fim a que se destinam, através da determinação da espessura mínima a adotar, não descurando se o seu assentamento se realiza sobre base flexível ou apoiada (figura 45).



Fig. 45 – Ineficaz dimensionamento de laje de pavimento exterior em Lioz (veículos)

- ✓ Avaliação do comportamento de materiais semelhantes anteriormente aplicados.

Apesar da informação disponível em documentação e manuais técnicos idóneos no que à pedra natural dizem respeito, nunca deve ser descurada uma visita ao local da sua futura aplicação e avaliação *in loco*, do comportamento de materiais semelhantes. Será igualmente útil a análise do seu comportamento após a sua entrada em serviço.

Nas figuras 46 e 47 encontram-se materializadas escolhas, provavelmente não cumprindo o propósito acima referido.

Na figura 46 pode observar-se o estado de degradação do revestimento em azul Valverde na estação de metro Lisboa Oriente, cuja entrada em serviço remonta a 1998. À data de hoje, são visíveis eflorescências, forte erosão superficial e diferencial.



Fig. 46 – Estação de Metro Oriente – pavimento azul Valverde (1998)

Na figura 47, também ela uma estação de metro em Lisboa (Aeroporto) com menos de um ano de entrada em serviço. É já notória à data de hoje, a patologia associada a perda de brilho, manchas brancas e eflorescências.



Fig. 47 – Estação de Metro Aeroporto – pavimento azul Valverde (2012)

Não foi tida em conta a constatação de degradação acelerada deste material, na sua preconização em novas estações.

- ✓ Adequação das características físico-mecânicas dos materiais à exposição ambiental e solar a que vão estar sujeitos.

Na figura 48, são visíveis os efeitos associados a uma fraca exposição solar e respetivas consequências no comportamento de materiais calcários com diferentes reações quanto à absorção de água. Salienta-se que estes degraus de escada pertencem a edifícios contíguos, com igual exposição solar embora com revestimentos distintos. Pode observar-se o diferente comportamento do

vidraço de Moleanos e o vidraço de Ataija. O vidraço de Moleanos apresenta patologia associada a colonização biológica.



Fig. 48 – Degraus de escada exterior em vidraço de Moleanos e vidraço de Ataija creme

- ✓ Todas as arestas devem apresentar-se quebradas/boleadas, mesmo que ligeiramente.

Arestas vivas não são compatíveis com pedras calcárias macias, conforme se pode verificar na figura 49.



Fig. 49 – Degrau de escada exterior, em vidraço de Moleanos amaciado, com aresta viva

- ✓ Devem ser sempre acautelados caminhos dedicados à evacuação de águas assim como prever dispositivos de drenagem adequados, evitando a formação de caminhos preferenciais de escoamento e consequente patologia.

Na figura 50 é notória a formação desses caminhos preferências e as consequências da ausência de dispositivos ou soluções de concepção que o evitem.

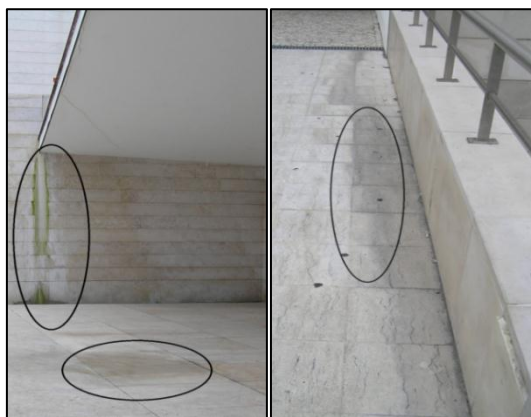


Fig. 50 – Ausência de dispositivos de drenagem e encaminhamento de águas pluviais.

- ✓ Garantir a existência de altimetria distinta, entre pavimentos interiores e exteriores, assim como prever pendentes de escoamento adequadas são fundamentais.

Na figura 51, verifica-se um comportamento diferente do mesmo tipo de pedra (azul Valverde amaciado) devido a distintas opções altimétricas. O facto de existir uma diferença altimétrica na transição interior-exterior, conduz a uma significativa melhoria do aspeto estético e ausência de patologia.



Fig. 51 – Contributo da diferença altimétrica para diminuição da patologia

- ✓ Estudo e desenvolvimento de soluções mais eficazes e duradouras no tratamento de juntas de dilatação estruturais expostas à intempérie.

Tipicamente são soluções medíocres que a curto prazo são motivo de propagação de patologia às áreas adjacentes.

Na figura 52, pode observar-se a consequência dessa ineficiência nos materiais de revestimento, estendendo-se essa ineficiência à patologia dos materiais de revestimento horizontais, neste caso vidro de Moleanos e azul Valverde. Ainda que a pormenorização destas soluções se apresente na

maioria das vezes incipiente é um facto irrefutável que a qualidade da execução é-o na maioria das vezes, deficitária.



Fig. 52 – Patologia em superfícies calcárias horizontais associadas a juntas de dilatação

- ✓ Correto dimensionamento dos sistemas de fixação.

Tendo em conta que as propriedades das pedras estão associadas à sua volumetria (resistência mecânica, absorção de água, porosidade, higroscopicidade) e sendo cada vez mais utilizadas placas de pedra natural de reduzidas espessuras, quer por motivos económicos quer por motivos de conforto na aplicação, é necessária uma descrição exaustiva quanto à localização e prescrição de ancoragens.

Na figura 53, pode observar-se a utilização de ancoragens em que os requisitos de tratamento ou especificação dos materiais não foram acautelados, tendo consequências no revestimento horizontal.

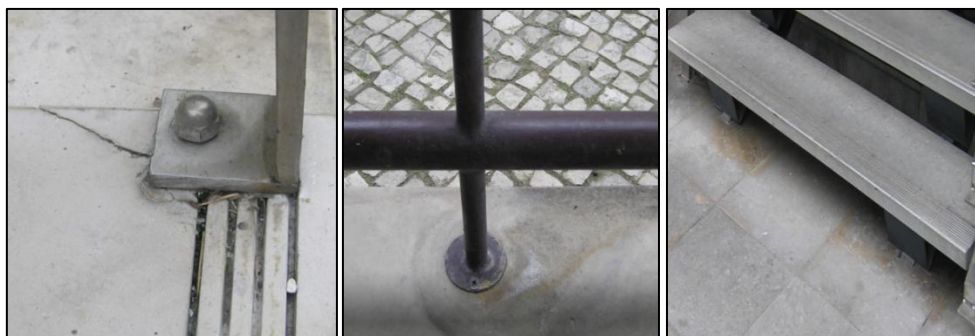


Fig. 53 – Insuficiente especificação de ancoragens

- ✓ Acautelar que todas as zonas sejam acessíveis a operações de limpeza e manutenção.

Frequentemente são adotadas soluções que não preveem a possibilidade de acesso, quer pelos espaços exíguos que exibem quer por inexistência de meios que permitam o seu acesso ou mesmo por incompatibilidade com os produtos e métodos frequentemente utilizados.

Na figura 54 encontra-se representada uma área exterior onde o acesso a operações de manutenção é inviável.

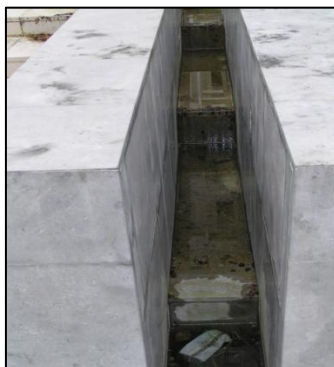


Fig. 54 – Espaço exíguo com 15 cm de largura e profundidade máxima de 1,50 m

- ✓ Reconhecer a necessidade dos períodos de secagem e sequência de atividades, impondo essa necessidade ao planeamento da obra em fase de execução assim como sensibilizar os Donos de Obra para a sua importância.

### 5.3.2. Fase de construção e período de garantia

Tal como um Plano de Segurança e Saúde (PSS) é evolutivo - fase de projeto e fase de construção – faz igualmente sentido, o Plano de Manutenção associado a determinado empreendimento ser também ele evolutivo.

Durante a construção muitos são os intervenientes que podem contribuir de forma positiva para a elaboração de um plano de manutenção – equipas de fiscalização, fornecedores e empreiteiros, podem com o seu *know-how*, prestar contributos essenciais. Tal contribuição é assente no saber fazer e acima de tudo no feedback conseguido em período pós construção, ou seja, após a entrada em serviço de determinado empreendimento e ao longo do seu período de garantia.

Apresentam-se em seguida alguns exemplos de boas práticas associadas à mitigação da patologia e custos associados à manutenção de pavimentos e escadas revestidos a pedra natural calcária, em fase de construção:

- ✓ Reconhecer a vantagem na contratação de empresas certificadas.  
Assegurar que fornecedores e produtos oferecem garantias e meios de controlo de qualidade, materializados através de registos. No caso da pedra natural, é fator de diferenciação, conhecer parâmetros reais quanto à sua análise petrográfica (existência de minerais instáveis, por exemplo) assim como conhecer as suas características físico-mecânicas intrínsecas para

além da descrição genérica e disponível no Catálogo das Rochas Ornamentais Portuguesas, amplamente utilizada.

- ✓ Efetuar uma correta seleção das peças a aplicar.

É comum a aplicação de pedra que apresenta fissuração antes mesmo do assentamento e/ou fragilização por existência de medidas corretivas de recurso face a lacunas associadas ao corte, transformação em oficina, ou transporte (figura 55).

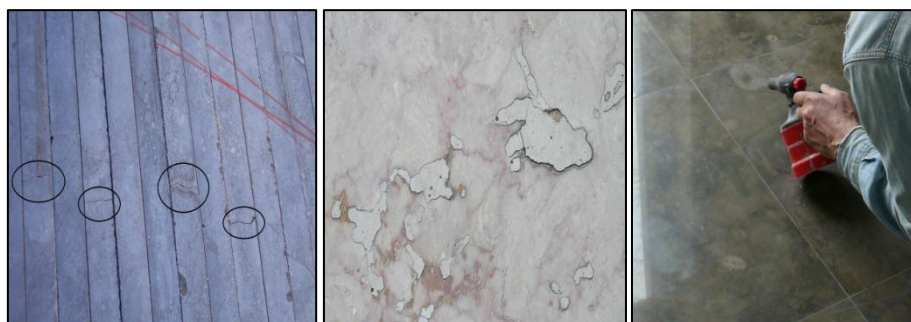


Fig. 55 – Pedras calcárias com fissuração e preenchimento de lacunas.

- ✓ Formar mão-de-obra de acordo com a evolução dos próprios materiais inerentes ao assentamento. Por diversas vezes são utilizados materiais adequados mas nem sempre são corretamente aplicados.
- ✓ Reconhecer a vantagem na correta aplicação de argamassas pré-doseadas e sua compatibilidade com adesivos de colagem e tratamento posterior de juntas. Na figura 56 é possível observar esse exemplo em áreas exteriores revestidas com pedras calcárias.

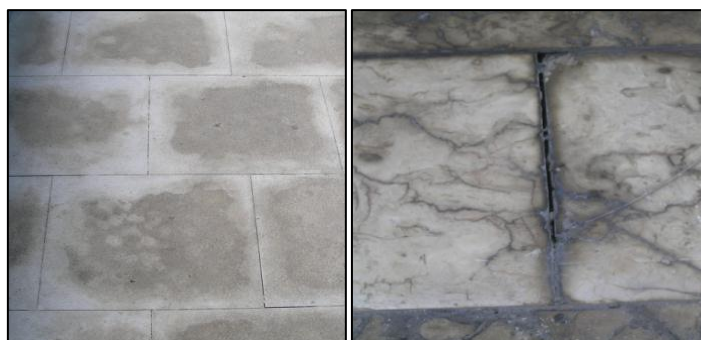


Fig. 56 – Ineficiente tratamento de juntas

- ✓ Garantir a horizontalidade e planeza da superfície.

Entre ladrilhos confinantes, não devem existir ressaltos superiores a um milímetro (a diferença de cota entre dois pontos selecionados aleatoriamente numa área de 5 x 5 m deve ser inferior a 3 mm). Ressaltos no revestimento de pavimentos são sinónimo de risco para a segurança e acumulação de resíduos, colocando em causa as exigências que lhe são colocadas (*vidé* figura 57).



Fig. 57 – Irregularidade na planeza da superfície

- ✓ Garantir que as superfícies sejam dotadas de pendentes adequadas.

É comum verificar-se este tipo de problema em degraus de escadas, com acumulação de água nos cobertores e patins. Na figura 58, pode verificar-se a ineficiente execução de pendentes e conseqüente cenário patológico.



Fig. 58 – Deficiente execução de pendente e parca manutenção

- ✓ Documentar as atividades associadas ao revestimento de superfícies, através da elaboração de procedimentos de execução detalhados, materiais utilizados, plano de preparação detalhado com indicação da estereotomia proposta, marcação do tipo e tratamento de juntas, assim como registos da sua rastreabilidade através de planos de inspeção e ensaio.
- ✓ Apresentação de um *dossier* técnico detalhado, com propostas de manutenção e respetiva periodicidade, de acordo com diretrizes dos próprios

fornecedores e especificações técnicas dos materiais e equipamentos utilizados.

- ✓ Criação de um Boletim de Acompanhamento evolutivo durante o período de garantia do empreendimento. Aqui, seriam registadas situações patológicas dignas de registo, assim como enumeradas quais as suas causas e medidas corretivas implementadas. Seriam igualmente registados os custos associados a estas intervenções. Este boletim seria divulgado por todas as entidades com participação no projeto como forma de apoio a decisões futuras.

### **5.3.3. Fase de serviço**

- ✓ Cumprir plano de manutenção preconizado em fase de projeto e/ou manutenção;
- ✓ De acordo com a dimensão do empreendimento criar uma equipa multidisciplinar responsável por implementar e complementar o plano de manutenção;

No caso específico dos revestimentos de piso em pedra natural:

- ✓ Colmatar fissuras e cavidades que possam surgir à superfície do revestimento;
- ✓ Manter em perfeitas condições as juntas (a sua não observância potencia entrada de água para o suporte com danos envolventes);
- ✓ Não utilização de produtos ou substâncias químicas não compatíveis com pedra natural;
- ✓ Substituição de elementos metálicos deteriorados;
- ✓ Utilização indevida de cargas excessivas em pavimentos;
- ✓ Efetuar limpeza adequada.

Conclui-se, portanto, que não deve a manutenção ser encarada como uma atividade que decorre isolada e numa fase posterior ao processo de conceção e execução.

É essencial, não só, acautelar soluções que garantam e perdurem durante a vida útil do empreendimento, mas também garantir que sobre estas seja possível planear e implementar respostas de manutenção eficazes através de equipas

multidisciplinares, com competências técnicas nas áreas em causa e a custo controlado.

#### 5.4. A limpeza e proteção da pedra natural – breve abordagem

Aires-Barros, Luís (2001), refere que tudo o que não se encontre num plano de edificado histórico pode ser limpo de forma industrial mas com controlo. Aqui a palavra industrial pode levar a conclusões precipitadas, e tornar irrelevante o cuidado a observar na manutenção e limpeza da pedra natural como revestimento habitual no edificado corrente. Por sua vez, a expressão controlo, oferece o mote essencial nestas matérias, a necessidade de efetuar um ensaio prévio numa pequena porção, em zonas específicas e pouco visíveis, acrescentando ainda que o método de limpeza depende da natureza, da sujidade e das características minero-físico-químicas da rocha e do seu estado de conservação são indicações claras do autor.

Lazzarini & Tabasso (1981) – fixam critérios gerais que devem presidir as operações de limpeza de pedra natural:

- Deve poder ser controlável em todas as suas fases;
- Deve ser gradativo e seletivo;
- Não deve originar materiais perigosos para a sua conservação (sais solúveis);
- Não deve originar modificações nas superfícies limpas (microfissuras e abrasões) que possam acelerar o processo de degradação.

Na figura 59, observa-se a consequência associada à utilização de abrasivos na superfície de um pavimento exterior em vidro de Moleanos, provocando o seu desgaste prematuro, conseqüente aumento da porosidade e facilitada fixação de sujidades.



Fig. 59 – Tentativa de limpeza com uso indevido de abrasivos

A amplitude deste capítulo carece de dissertação própria. No entanto e na dimensão do presente trabalho, segue enumerada a classificação das técnicas de limpeza associadas à pedra natural (Aires-Barros, Luís, 2001).

#### Técnicas Físico-Mecânicas

- ✓ Com utilização de água – lavagem por escoamento superficial, pulverização (não apropriado para rochas brandas), jacto a vapor;
- ✓ Com partículas abrasivas – jacto a seco, jacto com utilização de água;
- ✓ Com ferramentas mecânicas – escovagem;
- ✓ Com microjacto de precisão de partículas abrasivas;
- ✓ Com ultrassons;
- ✓ Com laser.

#### Técnicas Químicas e Biológicas

É importante registar que não abundam produtos químicos que se possam utilizar nas rochas sem quaisquer contra-indicações, no entanto são admitidas algumas soluções:

- ✓ Produtos tensoativos e emulsões (sabões neutros). Como exemplo e para as pedras calcárias, reagentes como o hexametáfosfato de sódio e o formiato de amónio são utilizados. Estes dois sais têm a propriedade de dissolver o gesso sem atacar o carbonato de cálcio;
- ✓ Com produtos básicos e sais com reacção alcalina, aplicados por cataplasma, ressalvando que caso existam sais em quantidade devem evitar-se as lavagens com água;
- ✓ Com solventes orgânicos – como removedores de ceras são utilizadas as acetonas e cloreto de metileno;
- ✓ É desaconselhável o uso de soluções com recurso a ácidos e sais de reacção ácida – ácido clorídrico, nítrico, fluorídrico, bioflureto de amónio, etc.

Para além da limpeza da pedra natural, outras opções podem ser equacionadas.

Diferentes métodos de protecção têm vindo a ser amplamente estudados e testados contribuindo para o incremento da durabilidade dos suportes e com o objetivo de reduzir a taxa de desenvolvimento de processos de alteração relacionados com a presença e movimento de água, ou mesmo impedir o seu início – (PINTO, Ana

Paula, 2003). À semelhança do anteriormente referido e a propósito da limpeza da pedra natural, o capítulo associado à sua proteção carece igualmente de uma abordagem específica e num âmbito de dissertação própria. No entanto, e na esfera do presente trabalho, entende-se ser aqui referenciada apenas como alvitre.

Lazzarini & Tabasso (1981) – identificam as qualidades abaixo enumeradas para qualquer agente de proteção de pedra natural:

- ✓ Ter a menor influência possível sobre as propriedades óticas do material a proteger;
- ✓ Ser estável aos agentes químicos, em especial aos poluentes ácidos da atmosfera;
- ✓ Ser estável aos UV;
- ✓ Ser impermeável à água líquida;
- ✓ Ser permeável ao vapor de água;
- ✓ Ser reversível, ou pelo menos, haver a possibilidade de remoção quando a ação de proteção cessar;
- ✓ Não resultar em subprodutos perigosos;
- ✓ Ser de fácil aplicação;

Ora a dificuldade é mesmo essa, conseguir aglutinar num produto específico todas estas premissas.

Com efeito, já existem no mercado diversos produtos que oferecem uma razoável solução, pese embora a noção de que não satisfazem todas as condições necessárias. Dificilmente, se conseguirão produtos que não adulterem a cor, textura ou brilho das superfícies tratadas.

Os impermeabilizantes de superfície são, à data, bastante utilizados. No entanto, o risco associado à sua utilização *versus* o habitual desconhecimento e ausência de registos quanto à composição das camadas de que compõem o sistema de revestimento, podem conduzir a consequências danosas a curto médio prazo. Vulgarmente são utilizados produtos hidrófugos, que por um lado, são considerados benéficos porque impedem a entrada de água no estado líquido à superfície, mas por outro lado são, igualmente, nefastos porque impedem a evacuação do vapor de água resultante da condensação interna ou da eventual entrada de água através das juntas e fissuras existentes à superfície. No caso dos pavimentos térreos, acresce ainda a eventual ascensão de águas provenientes dos solos e respetivo arrastamento de sais que dão origem ao aparecimento de eflorescências, ou,

melhor, criptoflorescências, dado ao seu desenvolvimento ficar circunscrito abaixo da superfície e capa de proteção do impermeabilizante. Neste contexto passa a existir uma barreira de produto que potencia a permanência da água nas suas vertentes líquidas e gasosa no interior da pedra, tendo como consequência a degradação acelerada do material de revestimento à custa de pressões internas e empolamentos notórios e destaques à superfície.

De qualquer forma já se encontram bastante divulgados os efeitos perniciosos da aplicação deste tipo de produtos, existindo no mercado uma vasta gama de produtos que apresentam características compatíveis com esta necessidade. Os silanos ou siloxanos são exemplos que permitem trocas gasosas com o exterior.

Ainda assim, e tratando-se de uma superfície horizontal, entende-se que a utilização de um hidrófugo, redutor da evaporação é mais prejudicial que vantajoso quando potenciado pelo generalizado desconhecimento da composição efetivamente executada das camadas subjacentes.

## 6. TRABALHO EXPERIMENTAL

### 6.1. Enquadramento

Na manutenção da pedra natural e num âmbito industrial ou em grande escala, é necessário existir algum rigor, pese embora que, geralmente, associado a condições contratuais exigentes. A utilização de produtos e tratamentos específicos, com penalizações associadas à sua não observância, assim como responsabilização por eventuais danos provocados, são uma realidade que obriga as entidades a alguma cautela neste domínio. No entanto e num cariz doméstico, é vulgar a utilização de produtos de limpeza *standard*, vulgo “*lava-tudo*”, que se apresentam disponíveis no mercado e teoricamente adequados para todas as superfícies laváveis.

Apesar do valor associado à pedra natural ser reconhecido pelo público em geral, no que concerne aos cuidados com a sua manutenção, poucos são aqueles que a identificam como um material natural e poroso, suscetível à patologia decorrente de uma utilização ou manutenção menos atenta e/ou mais agressiva.

### 6.2. Objetivo

Tendo como ponto de partida o facto de os revestimentos em pedra, não acolherem na generalidade dos seus utilizadores, métodos de manutenção adequados, pretendeu-se simular um esquema vulgar de manutenção/limpeza sobre pavimentos em pedra calcária.

Neste caso, a escolha recaiu sobre as litologias de vidro de Moleanos e azul Valverde.

Efetuada algum trabalho de campo, verificou-se a sua franca utilização em pavimentos de edificado recente na zona oriental de Lisboa (15 a 20 anos de existência).

Pretendeu-se sujeitar assim, provetes de vidro de Moleanos e azul Valverde à exposição de produtos de limpeza correntes e existentes no mercado, efetuando ao longo do processo de manutenção, ensaios e registos que permitissem identificar e tornar mensurável a sua influência sobre algumas das suas características físicas e aspeto visual.

### **6.3. Plano de ensaio**

#### **6.3.1. Pressupostos, condicionantes e limitações**

Atendendo ao tipo de objetivo delineado, seria de todo conveniente a utilização de microscópio petrográfico identificando de forma detalhada as alterações que viessem a ser observadas nos minerais constituintes da pedra por observação de lâminas delgadas impregnadas visando a determinação do tipo de porosidade presente em cada uma das amostras. Esta observação permitiria além das componentes minerais, observar a textura e estrutura, obter características ou alterações de cor, veios, descontinuidades e poder efetuar comparações antes, durante e pós a intervenção de simulação de manutenção.

No entanto a limitação de equipamento disponível (microscópio) inviabilizou o processo, tendo-se optado por uma análise macroscópica com recurso a lupa, mais limitada, mas ainda assim fundamental no apoio à descrição visual dos provetes sujeitos a ensaio.

Ora, sendo uma das características das pedras calcárias a sua elevada porosidade, verifica-se ser de todo conveniente identificar qual o impacto da utilização de produtos químicos de limpeza na sua superfície, como contributo ou não para o seu incremento, tornando-a mais suscetível a quadros de patologia e reduzindo significativamente o seu desempenho como material nobre de revestimento. Neste contexto poderiam também ser efetuados ensaios de molhabilidade da superfície, mensuráveis por exemplo através do tempo de absorção de microgotas ou medição da evaporação, parâmetro muito relevante em processos de deterioração, dada a sua relação com o processo de cristalização de sais.

No âmbito do presente trabalho, tendo em conta a sua limitação temporal e equipamento laboratorial disponível, identificaram-se os seguintes pontos mensuráveis:

- ✓ Macroscopia - aferição e descrição dos parâmetros associados à sua superfície e aspeto estético (brilho, cor e rugosidade);
- ✓ Massa volúmica aparente;
- ✓ Porosidade aberta.

O trabalho experimental idealizado e realizado, procurou garantir condições de execução o mais idênticas possível a uma real situação de manutenção, pese

embora sem algumas componentes, que poderiam trazer importantes contributos para o estudo em causa.

Sendo a maioria dos pavimentos revestidos a pedra, assentes sob bases monolíticas, constituídas por betonilha, camada adesiva e posterior preenchimento de juntas, e o facto de estas variáveis não terem sido consideradas no âmbito do estudo em causa, poderá fazer toda a diferença nos resultados obtidos. A reação destes componentes com os produtos de limpeza e a sua interação com a pedra natural, certamente conduziram a resultados distintos dos agora identificados, tais como o aparecimento de materiais solúveis à superfície, sendo imprescindível a sua consideração em estudos futuros. Tal como referido no capítulo 5, a designação – sistema de revestimento - reporta à necessidade de incluir outros elementos distintos do revestimento puro (pedra), sendo desta forma indissociável o revestimento final de todos os outros componentes que funcionam como uma estrutura organizada, com comportamento próprio, distinto e que interagem entre si. Neste contexto, o facto de as amostras contemplarem somente a pedra como material isolado, poderá ser encarado como uma limitação no que concerne ao seu todo, mas ainda assim e de outro ponto de vista, poderá ser também encarado como uma mais-valia, pois perceber-se-á qual o real contributo da pedra num contexto de manutenção agressiva.

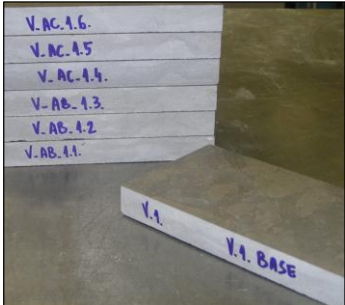
Em adenda a estas considerações o desgaste associado à sua utilização e conseqüente envelhecimento do revestimento, também não devem ser dispensados. Em presença de pavimentos exteriores e atendendo às diferentes amplitudes térmicas, a execução de ensaios de envelhecimento deve ser considerada. No entanto, no âmbito do trabalho executado, esta vertente não foi contemplada, sendo a premissa de ensaio referente a um revestimento de pavimento interior. A simulação de desgaste por pisoteio foi conseguida através da utilização de esfregão abrasivo (macio), conforme mais à frente identificado, pese embora com a possibilidade de polimento da superfície, dada a sua homogeneidade de movimentos.

### **6.3.2. Amostragem**

A amostragem recolhida e o número de amostras, são um pré-requisito para que qualquer estudo ofereça resultados laboratoriais fidedignos.

A quantidade e dimensão das amostras dependem dos métodos de ensaio a que se destinam, encontrando-se tais requisitos definidos no quadro normativo em vigor.

De forma a obter uma heterogeneidade natural correspondente ao mesmo tipo de pedra foram selecionados para ensaio, doze provetes de pedra natural calcária, seis de Moleanos e seis de azul Valverde, ambos com acabamento amaciado e com 200 mm x 100 mm x 20 mm de dimensão, conforme identificadas no quadro 8 e figura 60. Além dos doze provetes sujeitos a ensaio, foram também consideradas duas amostras (uma de cada tipo de pedra) identificadas como “base”. Estas amostras serviram de referencial e aferição das alterações superficiais manifestadas após solicitação de ensaio (figura 61).

Identificação	Dimensão			Acabamento	Proveniência
	mm				
	200	100	2		
M O L E A N O S	M_AB_1.1.	M.AC.1.6.		Amaciado	Pedreira de Moleanos nº 3 (Leiria)
	M_AB_1.2.	M.AC.1.5.			
	M_AB_1.3.	M.AC.1.4.			
	M_AC_1.4	M.AB.1.3.			
	M_AC_1.5	M.AB.1.2.			
	M_AC_1.6	M.AB.1.1.			
V A L V E R D E	V_AB_1.1.	V.AC.1.6.		Amaciado	Pedreira de Pé da Pedreira (Santarém)
	V_AB_1.2.	V.AC.1.5.			
	V_AB_1.3.	V.AC.1.4.			
	V_AC_1.4.	V.AB.1.3.			
	V_AC_1.5.	V.AB.1.2.			
	V_AC_1.6.	V.AB.1.1.			

Quadro 8 – Identificação de amostras, dimensão, acabamento e proveniência

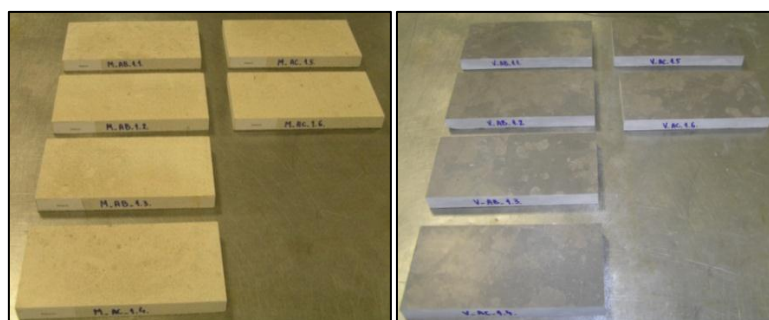


Fig. 60 – Provetes de pedra natural de vidraço de Moleanos e azul Valverde

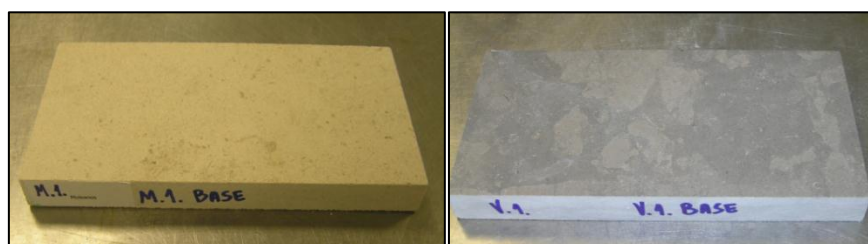




Fig. 61 – Amostra de referência em pedra natural de vidraço de Moleanos e azul Valverde

### 6.3.3. Descrição do plano

De acordo com o objetivo traçado - identificar as alterações no aspeto visual (textura, cor, brilho), massa aparente e porosidade aberta em pedras calcárias de vidro de Moleanos e azul Valverde antes, durante e após sujeição a simulação de manutenção corrente - o plano de ensaio assentou numa metodologia básica de utilização pedonal e manutenção de âmbito doméstico correspondente a um período temporal de 365 dias e uma frequência de 4 manutenções semanais.

De modo a possibilitar a obtenção de resultados e conclusões compatíveis com o tempo pré determinado para a elaboração deste trabalho, houve necessidade de converter a sua duração real de um ano, em aproximadamente três meses de trabalho experimental. Tal situação foi conseguida, através da sujeição das amostras a oito manutenções diárias durante um período de vinte e seis dias, alternados com trabalho laboratorial para aferição da evolução das características em estudo e ao longo de quatro pontos de paragem, correspondentes à fase inicial, e após 25, 50 e 100% do tempo decorrido, correspondentes às designações T0, T1, T2 e T3, à frente utilizadas. Desta forma, pretendeu-se não só aferir a curto prazo a mensurabilidade do ensaio proposto de forma a poder sustentar a sua prossecução, mas também monitorizar a sua evolução ao longo do tempo.

No quadro 9 encontra-se esquematizado o plano de ensaio implementado.

Identificação dos provetes	Identificação dos produtos de limpeza	Metodologia Lavagem de manutenção (1uni)	Período de Manutenção/Lavagens	Pontos de paragem para medição	Identificação dos ensaios e medição a realizar nos pontos de paragem
M_AB_1.1. M_AB_1.2. M_AB_1.3. V_AB_1.1 V_AB_1.2 V_AB_1.3	 <p><b>Produto B</b> (base amonia)</p>	<p>1º Dissolução do produto de limpeza em 5lt de água conforme indicação prescrita na embalagem</p> <p>2º Aplicação da solução na superfície das amostras, 5 x 5 vezes, utilizando um pano macio e 2 x 5 vezes, utilizando esfregão (a passagem de esfregão pretende simular pisoteio)</p>	Período de Manutenção/Lavagens Simulação de 4 lavagens de manutenção semanais, durante o período de 1 ano. Em ensaio, equivalente a 8 lavagens diárias durante 26 dias (208 lavagens/ano)	<p>1º Com <b>25%</b> do tempo decorrido, equivalente a 7 dias de ensaio</p> <p>2º Com <b>50%</b> do tempo decorrido, equivalente a 13 dias de ensaio</p>	<p>1º <b>Macroscopia</b> Identificação de alterações na superfície das amostras no que concerne à cor, textura e brilho com recurso a lupa e comparativamente a amostra base não submetida a ensaio.</p> <p>2º <b>Massa volúmica aparente</b></p> <p>3º <b>Porosidade aberta</b></p>
M_AC_1.4 M_AC_1.5 M_AC_1.6 V_AC_1.4. V_AC_1.5. V_AC_1.6.	 <p><b>Produto C</b> (base lixívia)</p>	<p>3º Secagem das amostras à temperatura ambiente</p>		<p>3º Com <b>100%</b> do tempo decorrido, equivalente a 26 dias de ensaio</p>	

Quadro 9 – Plano de ensaio – simulação de período de um ano de manutenção de pavimento em pedra

#### **6.3.4. Breve justificação sobre materiais, produtos e opções**

A escolha dos materiais pétreos recaiu sobre as litologias Moleanos e azul Valverde, atendendo à sua ampla utilização em pavimentos e em edificado recente, com 12 a 15 anos de idade. Tal constatação foi identificada em trabalho de campo efetuado na zona Oriental de Lisboa – Parque das Nações - onde foram recolhidos a maioria dos testemunhos fotográficos apresentados no capítulo 5.3. da presente dissertação. No que concerne à dimensão das amostras utilizadas e sendo um dos objetivos a observação, análise e descrição visual da superfície, foi adotada uma dimensão que permitisse cumprir este pressuposto em detrimento de dimensões mais reduzidas, mais facilmente manuseáveis. Refere-se ainda assim, a aplicabilidade do quadro normativo às dimensões consideradas.

Quanto ao tipo de produtos de limpeza utilizados e após breve análise de hábitos de consumo, a escolha recaiu sobre produtos “lava-tudo”, habitualmente usados para limpeza de pavimentos, sem que contudo, tenha sido observado quaisquer outros cuidados na sua aplicabilidade à pedra natural. Registe-se que uma escolha sensata para este tipo de material recairia sobre um produto de limpeza com pH neutro. O produto B contém amoniacal na sua composição, e o produto C contém uma mistura de agentes de branqueamento à base de cloro e hipoclorito de sódio (lixívia), ambos amplamente utilizados. O facto de terem sido eleitos dois produtos distintos, pretende simular uma real situação de manutenção, pois é comum a não fidelização a um produto de limpeza. De qualquer forma não se pretende obter resultados e comparação entre os provetes sujeitos a um e a outro produto, pese embora se poderá identificar uma tendência não vinculativa, em virtude de cada um dos produtos estar afeto a provetes específicos. Deste modo a amostragem para ensaio corresponde a seis provetes de cada uma das litologias, quantidade mínima prevista no quadro normativo (NP EN 1936:2008), e independente do produto de limpeza utilizado.

Atendendo a que o real período de manutenção é de 1 ano, o desgaste pedonal correspondente a este período, foi também considerado. Tal simulação foi conseguida através da utilização de um esfregão macio, que a cada uma das lavagens foi utilizado sobre a superfície da pedra.

## 6.4. Macroescopia

Independentemente dos ensaios de caracterização efetuados, e que definem determinado tipo de pedra natural quanto às suas características mecânicas, físicas e químicas, não pode ser descurada a importância da observação sensorial, através da visão e do tato.

Tendo em conta que na maioria dos casos, os processos de transformação e deterioração ocorrem primeiramente na estrutura interna da pedra e não são imediatamente percebidos ou mesmo mensuráveis, são as suas manifestações externas, quer na sua superfície quer na sua envolvente, que, ao serem identificadas pela maioria dos indivíduos, mesmo sem qualquer conhecimento profundo destas matérias, as consegue caracterizar como uma possível patologia associada à pedra natural.

Quer num contexto económico ou mesmo social, a pedra como material de revestimento, é o na maioria das vezes associada à sua beleza e uniformidade estética em detrimento das suas características físico-mecânicas. Daí a importância da avaliação macroscópica e sua mensurabilidade no contexto da presente dissertação.

De acordo com o Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas, as litologias catalogadas, identificam-se macroscopicamente de acordo com as figuras 62 e 63.



Fig. 62 – Extrato do Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas – azul Valverde



Fig. 63 – Extrato do Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas – Moleanos

Com a descrição macroscópica de referência, o azul Valverde caracteriza-se por ser um calcário cinzento-azulado com pequenas manchas dispersas de tonalidade mais clara e elementos grosseiros, calciclástico e pouco bioclástico, ou seja, com poucos fragmentos de material orgânico (conchas, por exemplo). *Per si* o vidraço de Moleanos, também de origem calcária, apresenta tonalidades variáveis desde o branco ao castanho, grosseiramente calciclástico, com poucas concreções esféricas formadas genericamente em torno de um núcleo (oolítico) e abundantemente bioclástico.

Por justaposição das amostras reais, a descrição é em tudo idêntica, embora se pressintam algumas diferenças.

O Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas apresenta o azul Valverde como pedra natural equivalente ao azul Mónica. O azul Mónica ou azul da Lourinhã, como é também conhecido, apresenta características bastante inferiores ao azul Valverde, havendo registo de ensaios de caracterização que apontam para valores de porosidade aberta acima dos 3,4%, muito acima dos valores de azul Valverde catalogado, apresentando este valores na ordem dos 1,4%. O aspeto do azul Mónica/Lourinhã, apresenta na sua constituição muitas conchas (bioclástico) e manchas esbranquiçadas em grande parte da sua superfície. Estas características tomam particular importância, caso estas pedras sejam aplicadas no exterior.

#### 6.4.1. Equipamento utilizado

De forma a ser possível identificar e caracterizar com mais rigor as amostras em estudo, o recurso a lupa foi adotado. A escolha recaiu sobre uma lupa com luz de *led* incorporada, com uma ampliação de 45 vezes e um diâmetro de 21 mm. Foi possível assim, caracterizar com algum pormenor as amostras.

Como auxílio, também foi utilizada uma fita métrica para identificação de pontos notáveis (manchas, cavidades), passíveis de poderem a vir a sofrer alterações significativas ao longo do ensaio.

O equipamento utilizado encontra-se na figura 64.



Fig. 64 – Lupa 45 x 21 mm

#### 6.4.2. Caracterização macroscópica das amostras em estudo

Após identificadas as amostras a serem submetidas a ensaio, procedeu-se à sua observação, análise e registo, conforme figuras 65 a 67, e antes de qualquer outra operação e/ou ensaio.



Fig. 65 – Observação das amostras – instante T0 – fase inicial

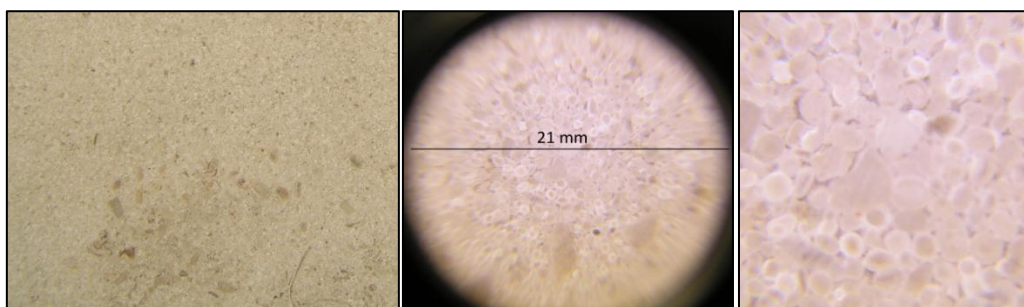


Fig. 66 – Amostra base de vidro Moleanos e pormenor ampliado 45 x 21 mm

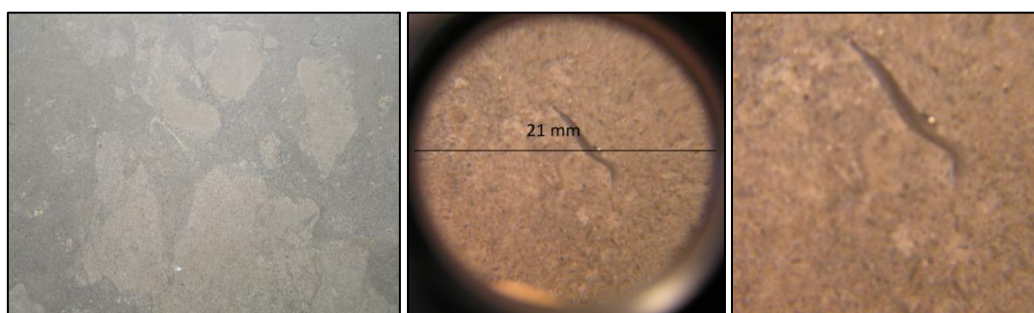


Fig. 67 – Amostra base de azul Valverde e pormenor ampliado 45 x 21 mm

Como pontos notáveis das amostras sujeitas a ensaio, poder-se-à dizer que genericamente se apresentam com estrutura mantida e em tudo idêntica às amostras base de referência. A superfície é macia ao toque e não se verifica a existência de riscos. Na amostra M\_AB\_1.1. verificam-se algumas manchas no seu tardo, embora aparentemente associado a aspetos de armazenamento da chapa de onde foi cortada a amostra. É de salientar também, que a amostra V\_AB\_1.3. apresenta duas pequenas zonas com perda de material eventualmente associada a depósito residual de matéria orgânica.

## 6.5. Massa volúmica aparente e porosidade aberta

Os valores das massas volúmicas aparente e porosidade aberta das pedras naturais são determinados tendo em conta o procedimento de ensaio estabelecido pela norma NP EN 1936:2008.

Após secagem até massa constante, a massa volúmica aparente e a porosidade aberta são determinadas através da absorção de água sob vácuo e da pesagem de provetes imersos. Neste caso não será determinada a porosidade total e a massa volúmica real, pois a necessidade de reduzir os provetes a pó não é compatível com o objetivo evolutivo do ensaio.

De acordo com a NP EN 1936:2008, são necessários os seguintes equipamentos:

- Estufa ventilada com manutenção de temperatura ( $70 \pm 5$ ) °C;
- Recipiente de vácuo capaz de manter uma pressão de  $(2,0 \pm 0,7)$  kPa =  $(15 \pm 5)$  mm de Hg;
- Balança com exatidão de 0,1% da massa a ser pesada;
- Um exsicador.

Apresenta-se nas figuras 68 a 70, os equipamentos utilizados.



Fig. 68 – Estufa 70°C e bomba de vácuo.



Fig. 69 – Balança com capacidade de pesagem de 1 kg / exatidão de 0,01g e exsicador

Os provetes a sujeitar a ensaio, foram secos até massa constante e em estufa previamente aquecida a  $(70 \pm 5)$  °C (vidé figura 70). De acordo com a norma, a

massa constante é atingida quando a diferença entre duas pesagens sucessivas, efetuadas com um intervalo de  $24 \pm 2$  horas, não é superior a 0,1% da massa do provete.

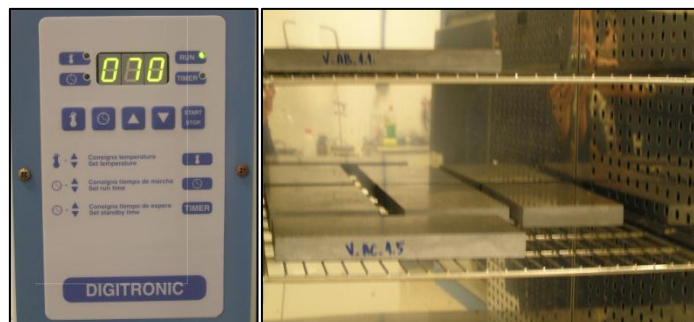


Fig. 70 – Provetes em estufa, previamente aquecida ( $70 \pm 5$ ) °C.

Obtiveram-se os valores registados no quadro 10.

Identificação	Provete seco ( $70 \pm 5$ °C)		Massa seca ( <i>md</i> )
	1ª Pesagem	2ª Pesagem após 24 horas	
	gramas (g)		
M_AB_1.1.	1.045,45	1.045,50	1.045,45
M_AB_1.2.	1.063,61	1.063,65	1.063,61
M_AB_1.3.	1.063,74	1.063,79	1.063,74
M_AC_1.4	1.044,74	1.044,77	1.044,74
M_AC_1.5	1.043,43	1.043,46	1.043,43
M_AC_1.6	1.029,54	1.029,61	1.029,54
V_AB_1.1.	1.036,29	1.036,21	1.036,21
V_AB_1.2.	1.033,89	1.033,72	1.033,72
V_AB_1.3.	1.038,65	1.038,50	1.038,50
V_AC_1.4.	1.037,48	1.037,39	1.037,39
V_AC_1.5.	1.034,77	1.034,72	1.034,72
V_AC_1.6.	1.034,23	1.034,06	1.034,06

Quadro 10 – Resultado das pesagens para obtenção da massa constante no instante T0 (fase inicial)

Analisando os resultados do quadro 10, salienta-se o facto de os provetes de Moleanos terem obtido valores ligeiramente superiores na 2ª pesagem. Nesta fase e em primeira análise, a hipótese de influência de fator externo, associado a deficiente selagem do exsiccador, poderá ter conduzido á absorção de humidade ambiente pelos provetes e conseqüentemente à obtenção de pesagens superiores nesta etapa. Este cuidado foi acautelado nos procedimentos subsequentes.

### 6.5.1. Cálculo da massa imersa e saturada

Após determinação da massa seca ( $m_d$ ), os provetes foram inseridos num exsicador e sujeitos a uma depressão de  $(2,0 \pm 0,7)$  kPa =  $(15 \pm 5)$  mm de Hg. Esta depressão foi mantida durante  $(2 \pm 0,2)$  h, por forma a eliminar o ar contido nos poros abertos dos provetes. Ressalva-se o facto de ser de todo conveniente que os provetes no interior do exsicador mantenham um pequeno afastamento entre si, no entanto por limitação de exsicadores disponíveis assim como da duração da presente dissertação, não foi possível atender a este cuidado, tendo sido apenas utilizado um exsicador e havendo por isso algum contacto entre as superfícies das várias amostras. A selagem do exsicador foi conseguida através da colocação de vaselina sólida na sua periferia (*vidé* figura 71).



Fig. 71 – Selagem periférica do exsicador

Posteriormente os provetes em subpressão foram imersos em água destilada pelo período de 24 horas. É de salientar a necessidade de manter a depressão durante o enchimento do exsicador. Tal situação foi conseguida, através da criação de um sistema simples, conforme identificado nas figuras 72 e 73, no entanto com alguma perda de pressão pontual, no início da introdução da água no exsicador.



Fig. 72 – Sistema de simulação de recipiente de vácuo para cada uma das litologias

Conseguida esta *performance*, foi introduzida no recipiente e de forma gradual (durante 15 minutos), água destilada à temperatura de  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , mantendo a depressão. Depois de todos os provetes imersos, foi restaurada a pressão atmosférica no interior do recipiente, ficando os provetes sujeitos a esta, durante  $(24 \pm 2)$  horas e conforme ilustrado na figura 74.

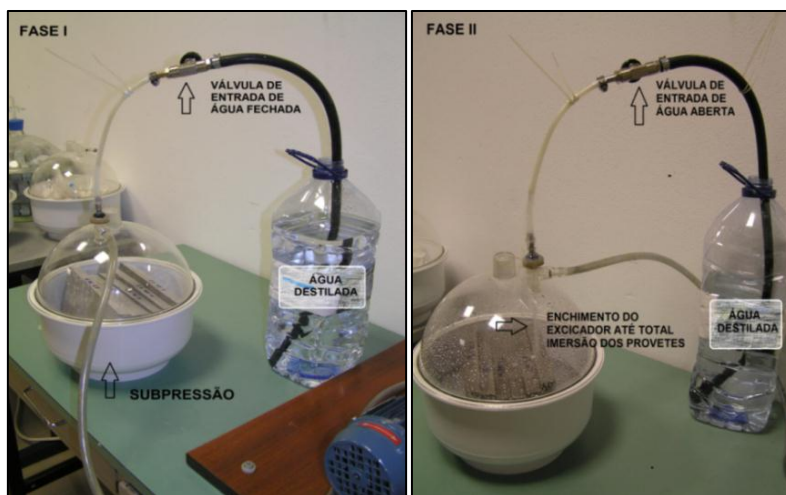


Fig. 73 – Imersão dos provetes

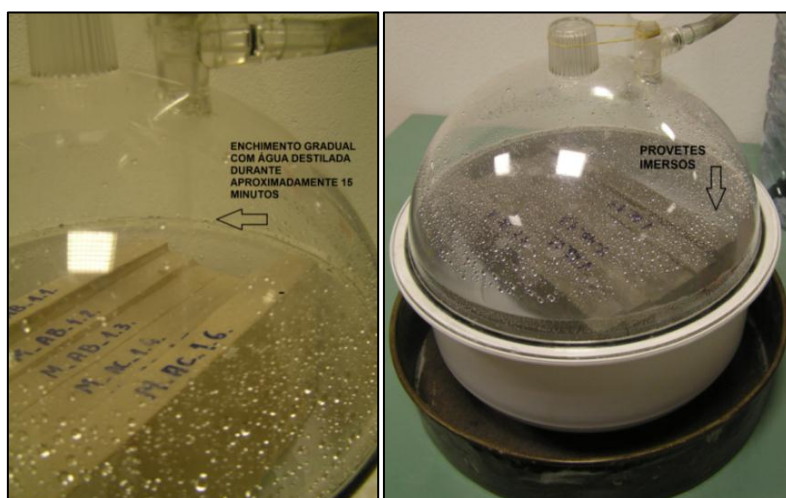


Fig. 74 – Pormenor de enchimento gradual do exsicador e provetes imersos

Decorrido este intervalo de tempo, os provetes imersos foram pesados, determinando-se a sua massa imersa em água ( $m_h$ ).

O equipamento utilizado para a pesagem hidrostática dos provetes, encontra-se identificado na figura 75.

Após a obtenção da massa imersa ( $m_h$ ), os provetes foram limpos com recurso a um pano húmido, tendo-se procedido de imediato a nova pesagem, determinando-se assim a massa do provete saturado ( $m_s$ ), conforme exemplifica a figura 76.

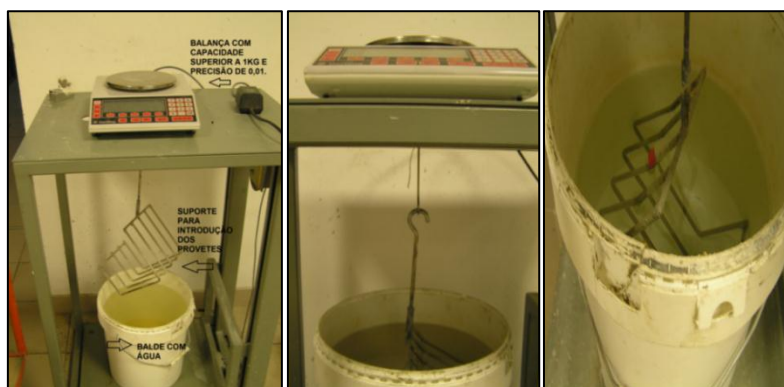


Fig. 75 – Equipamento para pesagem hidrostática



Fig. 76 – Limpeza do provete e obtenção da massa saturada (ms)

Concluídas as pesagens, obtiveram-se os resultados constantes no quadro 11, para o instante T0 (fase inicial).

Identificação	Massa seca ( <i>md</i> )	Massa imersa ( <i>mh</i> )	Massa saturada ( <i>ms</i> )
	gramas (g)		
M_AB_1.1.	1.045,45	654,92	1.063,93
M_AB_1.2.	1.063,61	668,80	1.080,26
M_AB_1.3.	1.063,74	671,80	1.080,41
M_AC_1.4	1.044,74	654,35	1.063,51
M_AC_1.5	1.043,43	654,80	1.062,41
M_AC_1.6	1.029,54	642,67	1.052,43
V_AB_1.1.	1.036,21	652,79	1.044,43
V_AB_1.2.	1.033,72	650,86	1.042,13
V_AB_1.3.	1.038,50	654,49	1.048,13
V_AC_1.4.	1.037,39	653,33	1.046,99
V_AC_1.5.	1.034,72	650,85	1.043,40
V_AC_1.6.	1.034,06	651,11	1.042,37

Quadro 11 – Mapa de pesagem hidrostática no instante T0 (fase inicial) – massa saturada e imersa

Nesta primeira abordagem poder-se-ão observar as nuances existentes quanto aos valores obtidos.

Apesar da mesma origem e uniformidade dimensional das amostras, são notórias ainda que pouco significativas, as diferenças medidas. Esta situação, mais uma vez reporta ao leque de variação possível quando de um material natural se trata, conduzindo obviamente a distintos desempenhos futuros. No entanto, neste caso, e atendendo a que a amostra tem a dimensão mínima recomendada, não fará sentido tirar quaisquer conclusões entre provetes (ainda que comparações pontuais possam ser efetuadas), mas sim considerar no seu cômputo geral uma tendência de comportamento. Este será o critério adotado, na análise de resultados subsequentes.

### 6.5.2. Cálculo da massa volúmica aparente e porosidade aberta

A determinação da massa volúmica permite obter de modo aproximado o grau de compactidade e natureza da pedra, sendo a razão entre a massa do provete seco e o seu volume aparente e dada pela equação:

$$\rho_b = \frac{m_d}{m_s - m_h} \times \rho_{rh}$$

Em que as variáveis representam:

$\rho_b$  = massa volúmica aparente [kg/m<sup>3</sup> ]

$m_d$  = massa do provete seco [g]

$m_s$  = massa do provete saturado [g]

$m_h$  = massa do provete imerso [g]

$\rho_{rh}$  = massa volúmica real da água a 20°C - 998 [kg/m<sup>3</sup> ]

A porosidade (Aires-Barros, 2001) de uma rocha é a razão entre o volume de vazios e o volume aparente de uma amostra representativa dessa rocha, ou seja o seu volume total. A existência destes vazios e de acordo com a sua forma e origem, conduzem a poros ou fissuras. Esta é uma característica estrutural destes materiais e depende da sua dimensão e disposição. A porosidade está estreitamente relacionada com o tamanho e distribuição dos grãos que compõem a rocha, assim como o tipo de contacto que estabelecem entre si.

Convém distinguir porosidade aberta e fechada. No caso da alterabilidade das rochas, importa a porosidade aberta, ou seja, aquela que permite e facilita trocas de fluídos (líquidos ou gasosos), água e ar no seu interior, dada a intercomunicação

entre os poros que as compõem. A porosidade fechada por sua vez, é a correspondente aos vazios fechados e isolados, não comunicantes.

Ora, à primeira vista, poder-se-á dizer que uma pedra demasiado porosa é pouco resistente à compressão, permeável e gelível, ou seja, quanto maior for a porosidade de uma pedra tanto menor será a sua durabilidade.

No entanto esta regra não é linear, pois pedras com a mesma porosidade podem apresentar capacidades de absorção distintas devido à existência de diferentes estruturas de redes capilares. Diferentes distribuições e tamanhos de poros, conduzem à necessidade de estudos de porometria e só assim aferir a sua real porosidade.

A porosidade aberta é a razão (apresentada em percentagem), entre o volume dos poros abertos e o volume aparente do provete e é calculada através da equação:

$$p_o = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \times 100$$

Em que as variáveis são:

$p_o$  = porosidade aberta [%]

$m_d$  = massa do provete seco [g]

$m_s$  = massa do provete saturado [g]

$m_h$  = massa do provete imerso [g]

Para a massa volúmica aparente e porosidade aberta, obtiveram-se para o instante T0 (fase inicial) os resultados constantes do quadro 12.

Identificação	Massa seca (md)	Massa imersa (mh)	Massa saturada (ms)	Diferença (ms-mh)	Volume dos poros abertos (ms-md)	Massa Volúmica Aparente	Porosidade Aberta	
	gramas (g)					kg/m³	%	
MOLEANOS	M_AB_1.1.	1.045,45	654,92	1.063,93	409,01	18,48	2.550,94	4,52
	M_AB_1.2.	1.063,61	668,80	1.080,26	411,46	16,65	2.579,80	4,05
	M_AB_1.3.	1.063,74	671,80	1.080,41	408,61	16,67	2.598,11	4,08
	M_AC_1.4	1.044,74	654,35	1.063,51	409,16	18,77	2.548,27	4,59
	M_AC_1.5	1.043,43	654,80	1.062,41	407,61	18,98	2.554,75	4,66
	M_AC_1.6	1.029,54	642,67	1.052,43	409,76	22,89	2.507,52	5,59
Média	1.048,42	657,89	1.067,16	409,27	18,74	2.556,56	4,58	
AZUL VALVERDE	V_AB_1.1.	1.036,21	652,79	1.044,43	391,64	8,22	2.640,53	2,10
	V_AB_1.2.	1.033,72	650,86	1.042,13	391,27	8,41	2.636,68	2,15
	V_AB_1.3.	1.038,50	654,49	1.048,13	393,64	9,63	2.632,92	2,45
	V_AC_1.4.	1.037,39	653,33	1.046,99	393,66	9,60	2.629,97	2,44
	V_AC_1.5.	1.034,72	650,85	1.043,40	392,55	8,68	2.630,62	2,21
	V_AC_1.6.	1.034,06	651,11	1.042,37	391,26	8,31	2.637,61	2,12
Média	1.035,77	652,24	1.044,58	392,34	8,81	2.634,72	2,24	

Quadro 12 – Massa volúmica aparente e porosidade aberta – instante T0 (fase inicial)

### 6.6. Comentário aos resultados obtidos – Instante T0 - fase inicial

Dada a dimensão da amostra e conforme critério enumerado anteriormente, este estudo será centrado na análise de resultados médios e de tendência por litologia, e não de provete a provete. Assim, importa agora correlacionar, os valores médios obtidos para a massa volúmica aparente e porosidade aberta das amostras em análise (antes de ensaios), com as “fichas técnicas” correspondentes a essas litologias e publicadas pelo INETI no Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas.

No quadro 13, pode observar-se essa comparação.

Identificação	Massa Volúmica Aparente		Porosidade Aberta	
	kg/m³		%	
	Catálogo das Rochas Ornamentais Portuguesas	Valores reais ensaiados	Catálogo das Rochas Ornamentais Portuguesas	Valores reais ensaiados
Moleanos	2.570,00	2.556,56	4,40	4,58
Azul Valverde	2.640,00	2.634,72	1,40	2,24

Quadro 13 – Comparação de valores ensaiados e valores catalogados

Comparativamente, o calcário azul Valverde catalogado (Santarém, Alcanede, Covão Alto), e o calcário azul Valverde sujeito a ensaio (Santarém, Pé da Pedreira), apresentam algumas diferenças no que concerne à porosidade.

Verifica-se que a porosidade aberta é mais elevada na amostra em estudo.

Ora, sendo o material proveniente da mesma zona, a diferença de valores de porosidade aberta, pode estar relacionada com o facto de se tratar de um material proveniente de uma bancada aquém da qualidade da litologia catalogada, pese embora a reduzida dimensão da amostra.

Esta observação não pode ser dissociada do anteriormente referido relativamente à importância relativa da marcação CE nas pedras naturais.

Não se pretende aqui, menosprezar de todo, a importância subjacente à marcação CE da pedra, trata-se de um processo de extrema importância em prole de maior e melhor informação disponível, mas principalmente do controlo do processo de produção, o que é sinónimo de maior qualidade na exploração, transformação e fornecimento da pedra natural, garantindo a satisfação do cliente final.

Pretende-se sim, fazer um alerta relativamente ao tipo de informação que se retira do referido documento de controlo e entendê-lo apenas como um guia para a caracterização pontual de determinado fornecimento. Ele representa tão só, uma fotografia de determinada amostra, devidamente ensaiada e caracterizada, mas não se poderá afirmar que caracteriza um fornecimento, ainda mais, caso estejamos na presença de quantidades avultadas.

Poder-se-á dizer que, mesmo em presença de pedra natural acompanhada de certificado CE, o mesmo não é garante que todas as peças fornecidas tenham características iguais. *In extremis*, esta situação poderá conduzir apenas a mais “uma informação”, não representando mais do que um registo pontual, localizado no espaço e no tempo.

Este é um alerta que pretende apenas sensibilizar os decisores para a importância relativa desta documentação e a necessidade de controlo efetivo ao material rececionado *in situ* assim como de todos os materiais e procedimentos de execução das atividades que lhe estão associadas, nomeadamente a composição de argamassas e adesivos, assim como procedimentos de execução.

No que ao capítulo da porosidade aberta diz respeito, importa referir que valores de porosidade aberta elevados, conduzem à absorção e ascensão de compostos provenientes não só da sua camada de base (neste caso, fora do âmbito de estudo), mas também da própria superfície da pedra e durante o processo de secagem. Atendendo à simulação pretendida no contexto do trabalho laboratorial descrito, através de sistemáticos ciclos de molhagem e secagem, este será um impacte a analisar de forma cuidada ao longo do trabalho laboratorial.

Observando os resultados obtidos, importa referir algumas variações dentro do mesmo tipo litológico, com especial relevância para a pedra de vidro de Moleanos. Não obstante da necessidade de realização de outro tipo de ensaios de caracterização, para a obtenção do certificado de marcação CE da pedra natural, verifica-se que mesmo para um número reduzido de amostras e provenientes da mesma pedreira/fornecedor, se obtêm resultados distintos e mensuráveis, através de diferenças na ordem dos dois pontos percentuais relativamente aos valores obtidos para a porosidade aberta.

## 6.7. Simulação de limpeza - Metodologia

Conforme referenciado no subcapítulo 6.3.3. a propósito da descrição do plano de manutenção e limpeza, importa agora detalhar a sequência de operações associadas ao esquema de limpeza a que as amostras foram sujeitas.

Conforme apresentado na figura 77, todo o material e equipamento utilizado foi selecionado e identificado de modo a garantir que durante o processo de simulação não ocorreriam misturas de materiais, equipamentos ou utensílios. Posteriormente procedeu-se à elaboração das soluções diluídas conforme recomendação inscrita no rótulo de cada um dos produtos (figura 78).



Fig. 77 – Identificação de kits de limpeza, B e C, respetivamente



Fig. 78 – Preparação das soluções de limpeza

Após preparadas as soluções, os provetes foram dispostos na bancada de trabalho e sujeitos a 8 lavagens diárias num total de 26 dias de acordo com o procedimento apresentado na figura 79.





1ª Fase	2ª Fase	3ª Fase	4ª Fase
3 x 5 passagens com pano macio embebido na solução	2 x 5 passagens com esfregão macio embebido/escorrido na solução	2 x 5 passagens com pano macio escorrido	Secagem ao ar (sem exposição solar)
			
(*) - Correspondente a uma lavagem			

Fig. 79 – Procedimento de limpeza

### 6.8. Ponto de medição e paragem – Instante T1 - 25% do tempo decorrido

De acordo com o plano de ensaio apresentado no subcapítulo 6.3.3., e decorridos 7 dias (T1\_25%), correspondente a 56 lavagens do esquema de manutenção proposto, obtiveram-se os resultados constantes nos quadros 14 e 15 correspondentes à massa constante, imersa e saturada que deram origem posteriormente ao cálculo da massa volúmica aparente e porosidade aberta.

Numa situação real, este período corresponderia a 13 semanas de manutenção.

Na figura 80 identificam-se as 4 fases de cada uma das operações de limpeza.



Fig. 80 – Execução do procedimento de limpeza (uma lavagem)

Durante os 7 dias de ensaio, pôde observar-se de forma muito clara a diferença entre os tempos de evaporação após lavagem, das litologias de vidro de Moleanos e azul Valverde, associados à sua heterogeneidade, porosidade, permeabilidade e sistema interno de capilares (figura 81).



Fig. 81 – Secagem da superfície (vidro de Moleanos e azul Valverde, respetivamente)

Obtiveram-se os resultados apresentados no quadro 14, para a massa seca no instante T1.

Identificação	Provete seco ( $70 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ )		Massa seca ( <i>md</i> )
	1ª Pesagem	2ª Pesagem após 24 horas	
	gramas (g)		
M_AB_1.1.	1.045,38	1.045,48	1.045,38
M_AB_1.2.	1.063,48	1.063,58	1.063,48
M_AB_1.3.	1.063,66	1.063,80	1.063,66
M_AC_1.4	1.044,70	1.044,80	1.044,70
M_AC_1.5	1.043,41	1.043,48	1.043,41
M_AC_1.6	1.029,57	1.029,64	1.029,57
V_AB_1.1.	1.036,51	1.036,33	1.036,33
V_AB_1.2.	1.033,94	1.033,74	1.033,74
V_AB_1.3.	1.038,90	1.038,65	1.038,65
V_AC_1.4.	1.037,77	1.037,59	1.037,59
V_AC_1.5.	1.034,95	1.034,77	1.034,77
V_AC_1.6.	1.034,42	1.034,19	1.034,19

Quadro 14 – Resultado das pesagens para obtenção da massa constante no instante T1 (25% do tempo decorrido)

Por análise e comparação com os valores obtidos para a massa constante no instante inicial (T0), ressalta a pequeníssima diferença nos valores obtidos. Tendencialmente o calcário de Moleanos apresenta valores ligeiramente mais baixos, pese embora o seu reduzido impacto no contexto e dimensão da amostra considerada. Quanto ao azul Valverde a tendência é contrária, mantendo-se a diminuta diferença. Como nota crítica e prevendo a Norma uma aproximação às duas casas decimais, entende-se ser de todo conveniente adotar esta precisão à dimensão da amostra. Neste caso, o quadro normativo prevê a aceitação dos critérios da dimensão unitária utilizada, mas mantém a precisão quanto à apresentação de resultados.

Após determinação da massa constante, foram obtidos os valores constantes no quadro 15, para a massa imersa e saturada.

Identificação	Massa seca ( <i>md</i> )	Massa imersa ( <i>mh</i> )	Massa saturada ( <i>ms</i> )
	gramas (g)		
M_AB_1.1.	1.045,38	654,18	1.062,04
M_AB_1.2.	1.063,48	668,93	1.078,64
M_AB_1.3.	1.063,66	671,01	1.078,72
M_AC_1.4	1.044,70	654,44	1.061,93
M_AC_1.5	1.043,41	654,51	1.061,04
M_AC_1.6	1.029,57	642,42	1.050,35
V_AB_1.1.	1.036,33	652,05	1.044,35
V_AB_1.2.	1.033,74	651,19	1.042,07
V_AB_1.3.	1.038,65	653,70	1.048,07
V_AC_1.4.	1.037,59	653,42	1.046,88
V_AC_1.5.	1.034,77	650,56	1.043,22
V_AC_1.6.	1.034,19	650,86	1.042,49

Quadro 15 – Mapa de pesagem hidrostática no instante T1 (25% do tempo decorrido) – massa saturada e imersa

Na figura 82 encontra-se exemplificada a pesagem hidrostática de uma das amostras (vidraço Moleanos M\_AB\_1.1.).



Fig. 82 – Pesagem hidrostática da amostra M\_AB\_1.1. (massa imersa e saturada)

A massa volúmica aparente e a porosidade aberta obtida, após 7 dias de simulação de limpeza e correspondente a 13 semanas reais (T1\_25%), encontra-se identificada no quadro 16.

Identificação	Massa seca (md)	Massa imersa (mh)	Massa saturada (ms)	Diferença (ms-mh)	Volume dos poros abertos (ms-md)	Massa Volúmica Aparente	Porosidade Aberta	
	gramas (g)					kg/m <sup>3</sup>	%	
MOLEANOS	M_AB_1.1.	1.045,38	654,18	1.062,04	407,86	16,66	2.557,96	4,08
	M_AB_1.2.	1.063,48	668,93	1.078,64	409,71	15,16	2.590,50	3,70
	M_AB_1.3.	1.063,66	671,01	1.078,72	407,71	15,06	2.603,65	3,69
	M_AC_1.4	1.044,70	654,44	1.061,93	407,49	17,23	2.558,62	4,23
	M_AC_1.5	1.043,41	654,51	1.061,04	406,53	17,63	2.561,49	4,34
	M_AC_1.6	1.029,57	642,42	1.050,35	407,93	20,78	2.518,84	5,09
	Média	1.048,37	657,58	1.065,45	407,87	17,09	2.565,18	4,19
AZUL VALVERDE	V_AB_1.1.	1.036,33	652,05	1.044,35	392,30	8,02	2.636,39	2,04
	V_AB_1.2.	1.033,74	651,19	1.042,07	390,88	8,33	2.639,36	2,13
	V_AB_1.3.	1.038,65	653,70	1.048,07	394,37	9,42	2.628,43	2,39
	V_AC_1.4.	1.037,59	653,42	1.046,88	393,46	9,29	2.631,82	2,36
	V_AC_1.5.	1.034,77	650,56	1.043,22	392,66	8,45	2.630,01	2,15
	V_AC_1.6.	1.034,19	650,86	1.042,49	391,63	8,30	2.635,45	2,12
	Média	1.035,88	651,96	1.044,51	392,55	8,63	2.633,58	2,20

Quadro 16 – Massa volúmica aparente e porosidade aberta – instante T1 (após 25% do tempo decorrido)

À frente, no capítulo 6.11., proceder-se-á à análise mais detalhada destes resultados.

Do ponto de vista macroscópico e por observação à vista desarmada, nas amostras de vidro de Moleanos podem referenciar-se algumas diferenças na sua superfície comparativamente às amostras antes de ensaio.

O acabamento amaciado que dotava a superfície inicial de meio-brilho, apresenta-se agora adulterado. Textura menos macia, perda de brilho e de material, são possíveis de se identificar a olho nu. De qualquer forma é de ressaltar a estrutura superficial mantida na maioria das amostras, embora se registre o aparecimento de alguns cristais mais visíveis.

Quanto ao azul Valverde e apesar das suas características físico-mecânicas comparativamente ao vidro de Moleanos serem superiores, apresentou-se visualmente mais sofrível após a primeira intervenção de manutenção. São notórias mesmo à vista desarmada, a perda do brilho e o aparecimento de cavidades superficiais assim bem como o aumento da rugosidade.

Na figura 83 pode observar-se o aspeto da superfície da amostra V\_AB\_1.3. no seu estado inicial. Na figura 84 e 85, apresentam-se os pontos notáveis após manutenção pelo período de 7 dias, correspondente a 13 semanas de manutenção real.

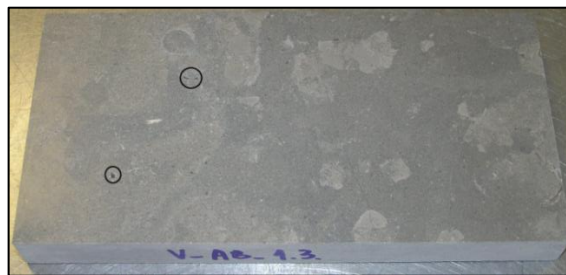


Fig. 83 – Amostra azul Valverde V\_AB\_1.3. instante T0 (estado inicial) – pontos notáveis

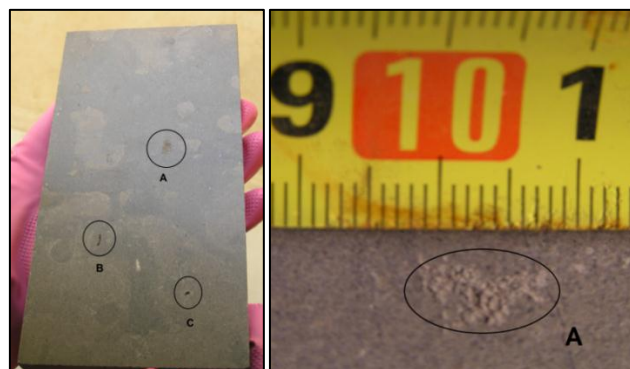


Fig. 84 – V\_AB\_1.3. – Instante T1 (25%) – pontos notáveis (olho nú)

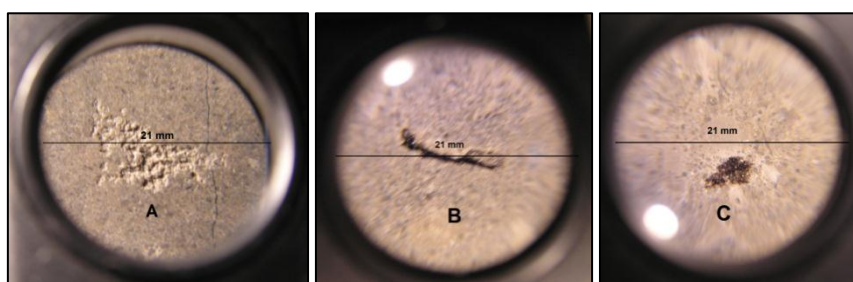
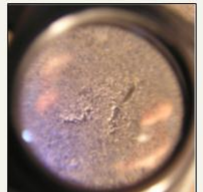
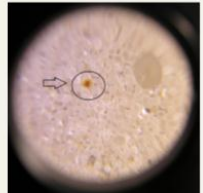
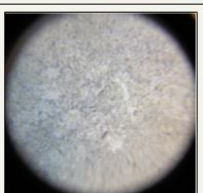
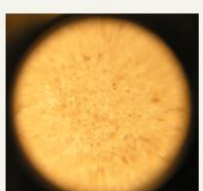

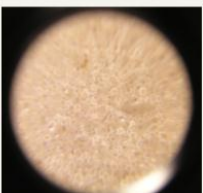




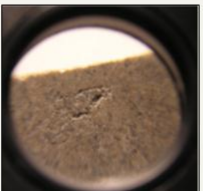


Fig. 85 – V\_AB\_1.3. – Instante T1 (25%) – pontos notáveis (lupa 45 x 21 mm)

No quadro 17 estão apresentadas as amostras ensaiadas e pontos notáveis observados, referentes ao vidro de Moleanos e azul Valverde.

Identificação	T1 - Após 25% do tempo de manutenção decorrido		Identificação	T1 - Após 25% do tempo de manutenção decorrido			
	Imagem Lupa 45 x 21 mm	Descrição visual		Imagem Lupa 45 x 21 mm	Descrição visual		
M O L E A N O S	M_AB_1.1.			V_AB_1.1.		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresenta perda de brilho;</li> <li>2. Textura menos macia;</li> <li>3. Mais cristais visíveis;</li> <li>4. Perda de material à superfície</li> </ol>	
	M_AB_1.2.		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresenta perda de brilho;</li> <li>2. Textura menos macia;</li> <li>3. Mancha pontual de óxido de ferro;</li> <li>4. Perda de material à superfície</li> </ol>	V_AB_1.2.		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresenta perda de brilho;</li> <li>2. Textura menos macia;</li> <li>3. Estrutura fechada com perda de material pouco significativa</li> <li>4. Riscos visíveis</li> </ol>	
	M_AB_1.3.		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresenta perda de brilho;</li> <li>2. Textura menos macia;</li> <li>3. Estrutura mantida</li> </ol>	A Z U L V A L V E R D E	V_AB_1.3.		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresenta perda de brilho;</li> <li>2. Textura menos macia;</li> <li>3. Perda de material à superfície visível a olho nú ( 1cm área)</li> <li>4. Desgaste/riscos visíveis</li> </ol>
	M_AC_1.4		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresenta perda de brilho;</li> <li>2. Textura menos macia;</li> <li>3. Estrutura mantida</li> </ol>		V_AC_1.4		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresenta perda de brilho;</li> <li>2. Textura menos macia;</li> <li>3. Perda de material à superfície visível a olho nú (finos)</li> <li>4. Desgaste/riscos visíveis</li> </ol>
	M_AC_1.5		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresenta perda de brilho;</li> <li>2. Textura menos macia;</li> <li>3. Estrutura mantida</li> <li>4. Desgaste na aresta com perda de material</li> </ol>		V_AC_1.5		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresenta perda de brilho;</li> <li>2. Textura menos macia;</li> <li>3. Manchas brancas;</li> <li>4. Superfície riscada</li> </ol>
	M_AC_1.6		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresenta perda de brilho;</li> <li>2. Textura menos macia;</li> <li>3. Estrutura mantida</li> </ol>		V_AC_1.6		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresenta perda de brilho;</li> <li>2. Textura menos macia;</li> <li>3. Perda de material à superfície visível a olho nú</li> <li>4. Desgaste/riscos visíveis</li> </ol>

Quadro 17 – Vidraço de Moleanos e azul Valverde - análise macroscópica após decorrido 25% do tempo de manutenção

### 6.9. Ponto de medição e paragem – Instante T2 - 50% do tempo decorrido

Após período de manutenção de 15 dias, correspondente a 120 lavagens e aproximadamente 26 semanas de manutenção real (T2\_50%), foram novamente aferidos os resultados da massa volúmica aparente, porosidade aberta e efetuado exame macroscópico.

No quadro 18, encontram-se os valores de massa constante.

Identificação	Provede seco ( $70 \pm 5$ °C)		Massa seca ( <i>md</i> )
	1ª Pesagem	2ª Pesagem após 24 horas	
	gramas (g)		
M_AB_1.1.	1.045,24	1.045,23	1.045,23
M_AB_1.2.	1.063,47	1.063,46	1.063,46
M_AB_1.3.	1.063,34	1.063,33	1.063,33
M_AC_1.4	1.044,75	1.044,73	1.044,73
M_AC_1.5	1.043,39	1.043,38	1.043,38
M_AC_1.6	1.029,65	1.029,62	1.029,62
V_AB_1.1.	1.035,81	1.036,12	1.035,81
V_AB_1.2.	1.033,26	1.033,55	1.033,26
V_AB_1.3.	1.038,12	1.038,46	1.038,12
V_AC_1.4.	1.037,56	1.037,28	1.037,28
V_AC_1.5.	1.034,77	1.034,55	1.034,55
V_AC_1.6.	1.034,15	1.033,93	1.033,93

Quadro 18 – Resultado das pesagens para obtenção da massa constante no instante T2 (50% do tempo decorrido)

Comparativamente aos resultados obtidos em T1 (25% do tempo decorrido) os diferenciais são igualmente mínimos e inferiores a uma grama de peso. Quanto a T0 (fase inicial) as diferenças mais significativas (embora sem grande relevo) apresentam-se nas amostras sujeitas ao produto B, quer para o vidraço de Moleanos quer para o azul Valverde.

Determinada a massa constante, efetuaram-se as pesagens hidrostáticas, cujos resultados se apresentam no quadro 19.

Identificação	Massa seca ( <i>md</i> )	Massa imersa ( <i>mh</i> )	Massa saturada ( <i>ms</i> )
	gramas (g)		
M_AB_1.1.	1.045,23	655,94	1.063,35
M_AB_1.2.	1.063,46	667,90	1.079,23
M_AB_1.3.	1.063,33	668,11	1.079,19
M_AC_1.4	1.044,73	655,58	1.062,19
M_AC_1.5	1.043,38	654,95	1.061,72
M_AC_1.6	1.029,62	644,90	1.051,21
V_AB_1.1.	1.035,81	650,14	1.042,01
V_AB_1.2.	1.033,26	648,63	1.039,63
V_AB_1.3.	1.038,12	651,63	1.046,07
V_AC_1.4.	1.037,28	651,37	1.044,50
V_AC_1.5.	1.034,55	649,86	1.041,25
V_AC_1.6.	1.033,93	648,96	1.039,94

Quadro 19 – Mapa de pesagem hidrostática no instante T2 (50% do tempo decorrido) – massa saturada e imersa

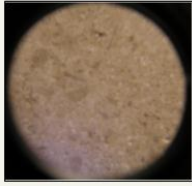
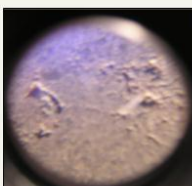
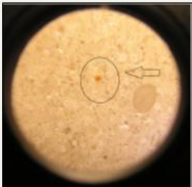

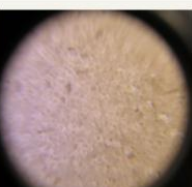

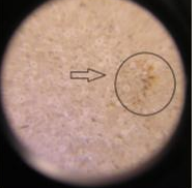
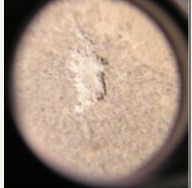



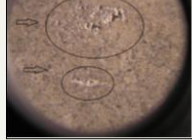
Para a massa volúmica aparente e a porosidade aberta, foram obtidos os valores constantes no quadro 20.

Identificação	Massa seca ( <i>md</i> )	Massa imersa ( <i>mh</i> )	Massa saturada ( <i>ms</i> )	Diferença ( <i>ms-mh</i> )	Volume dos poros abertos ( <i>ms- md</i> )	Massa Volúmica Aparente $\rho_b = \frac{m_d}{m_s - m_h} \times \rho_{sh}$	Porosidade Aberta $P_o = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \times 100$	
	gramas (g)					kg/m <sup>3</sup>	%	
MOLANOS	M_AB_1.1.	1.045,23	655,94	1.063,35	407,41	18,12	2.560,42	4,45
	M_AB_1.2.	1.063,46	667,90	1.079,23	411,33	15,77	2.580,25	3,83
	M_AB_1.3.	1.063,33	668,11	1.079,19	411,08	15,86	2.581,50	3,86
	M_AC_1.4	1.044,73	655,58	1.062,19	406,61	17,46	2.564,23	4,29
	M_AC_1.5	1.043,38	654,95	1.061,72	406,77	18,34	2.559,91	4,51
	M_AC_1.6	1.029,62	644,90	1.051,21	406,31	21,59	2.529,01	5,31
	Média	1.048,29	657,90	1.066,15	408,25	17,86	2.562,55	4,38
AZUL VALVERDE	V_AB_1.1.	1.035,81	650,14	1.042,01	391,87	6,20	2.637,96	1,58
	V_AB_1.2.	1.033,26	648,63	1.039,63	391,00	6,37	2.637,32	1,63
	V_AB_1.3.	1.038,12	651,63	1.046,07	394,44	7,95	2.626,62	2,02
	V_AC_1.4.	1.037,28	651,37	1.044,50	393,13	7,22	2.633,24	1,84
	V_AC_1.5.	1.034,55	649,86	1.041,25	391,39	6,70	2.637,98	1,71
	V_AC_1.6.	1.033,93	648,96	1.039,94	390,98	6,01	2.639,17	1,54
	Média	1.035,49	650,10	1.042,23	392,14	6,74	2.635,38	1,72

Quadro 20 – Massa volúmica aparente e porosidade aberta – instante T2 (após 50% do tempo decorrido)

No capítulo 6.11. proceder-se-á à análise detalhada dos resultados.

No quadro 21 estão apresentadas as amostras ensaiadas e evolução de pontos notáveis observados com recurso a lupa, referentes ao vidraço de Moleanos e azul Valverde.

Identificação	T2 - Após 50% do tempo de manutenção decorrido		Identificação	T2 - Após 50% do tempo de manutenção decorrido	
	Imagem Lupa 45 x 21 mm	Descrição visual		Imagem Lupa 45 x 21 mm	Descrição visual
M O L E A N O S	M_AB_1.1.			V_AB_1.1.	
	M_AB_1.2.			V_AB_1.2.	
	M_AB_1.3.			V_AB_1.3.	
	M_AC_1.4.			V_AC_1.4.	
	M_AC_1.5.			V_AC_1.5.	
	M_AC_1.6.			V_AC_1.6.	
			A Z U L V A L V E R D E		

Quadro 21 – Vidraço de Moleanos e azul Valverde - análise macroscópica após decorrido 50% do tempo de manutenção.

Continuam a verificar-se alterações mais significativas e perceptíveis nas amostras de azul Valverde.

### 6.10. Ponto de medição e paragem – Instante T3 - 100% do tempo decorrido

Após período de manutenção de 26 dias, correspondente a 208 lavagens e aproximadamente 52 semanas de manutenção real (T3\_100%), foram novamente aferidos os resultados da massa volúmica aparente, porosidade aberta e efetuado exame macroscópico.

No quadro 22, estão apresentados os resultados obtidos para a massa constante.

Identificação	Proveito seco ( $70 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ )		Massa seca ( <i>md</i> )
	1ª Pesagem	2ª Pesagem após 24 horas	
	gramas (g)		
M_AB_1.1.	1.045,07	1.045,06	1.045,06
M_AB_1.2.	1.063,34	1.063,28	1.063,28
M_AB_1.3.	1.063,17	1.063,12	1.063,12
M_AC_1.4	1.044,72	1.044,64	1.044,64
M_AC_1.5	1.043,42	1.043,33	1.043,33
M_AC_1.6	1.029,61	1.029,58	1.029,58
V_AB_1.1.	1.036,89	1.036,38	1.036,38
V_AB_1.2.	1.034,54	1.033,95	1.033,95
V_AB_1.3.	1.038,61	1.038,04	1.038,04
V_AC_1.4.	1.038,53	1.038,91	1.038,53
V_AC_1.5.	1.035,63	1.035,09	1.035,09
V_AC_1.6.	1.035,15	1.034,53	1.034,53

Quadro 22 – Resultado das pesagens para obtenção da massa constante no instante T3 (100% do tempo decorrido)

A massa imersa e saturada, após pesagem hidrostática constam do quadro 23.

Na figura 86, encontra-se materializada a pesagem hidrostática efetuada para a amostra M\_AB\_1.2.



Fig. 86 – Pesagem hidrostática da amostra M\_AB\_1.2. (massa imersa e saturada)

Identificação	Massa seca ( <i>md</i> )	Massa imersa ( <i>mh</i> )	Massa saturada ( <i>ms</i> )
	gramas (g)		
M_AB_1.1.	1.045,06	656,57	1.062,28
M_AB_1.2.	1.063,28	668,64	1.078,24
M_AB_1.3.	1.063,12	668,36	1.078,33
M_AC_1.4	1.044,64	655,90	1.060,51
M_AC_1.5	1.043,33	654,98	1.061,59
M_AC_1.6	1.029,58	645,61	1.049,71
V_AB_1.1.	1.036,38	649,24	1.042,49
V_AB_1.2.	1.033,95	647,88	1.040,07
V_AB_1.3.	1.038,04	652,89	1.046,13
V_AC_1.4.	1.038,53	650,19	1.044,89
V_AC_1.5.	1.035,09	649,53	1.042,11
V_AC_1.6.	1.034,53	648,20	1.040,34

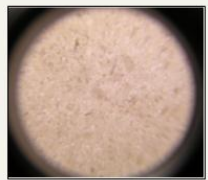

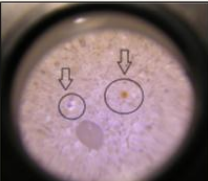
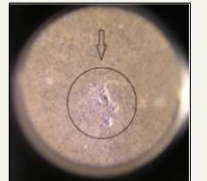


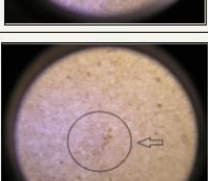

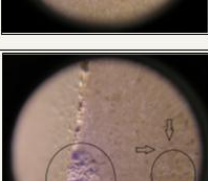
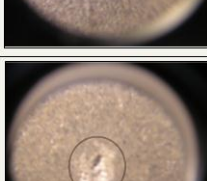
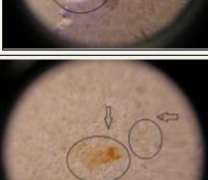
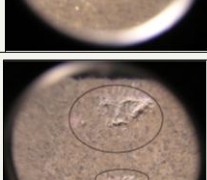
Quadro 23 – Mapa de pesagem hidrostática no instante T3 (100% do tempo decorrido) – massa saturada e imersa

Foram obtidos os resultados constantes no quadro 24 para a massa volúmica aparente e porosidade aberta após finalização do período de manutenção em estudo.

Identificação	Massa seca ( <i>md</i> )	Massa imersa ( <i>mh</i> )	Massa saturada ( <i>ms</i> )	Diferença ( <i>ms-mh</i> )	Volume dos poros abertos ( <i>ms- md</i> )	Massa Volúmica Aparente $\rho_b = \frac{m_d}{m_s - m_h} \times \rho_{th}$	Porosidade Aberta $p_o = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \times 100$	
	gramas (g)					kg/m <sup>3</sup>	%	
MOLLEANOS	M_AB_1.1.	1.045,06	656,57	1.062,28	405,71	17,22	2.570,73	4,24
	M_AB_1.2.	1.063,28	668,64	1.078,24	409,60	14,96	2.590,71	3,65
	M_AB_1.3.	1.063,12	668,36	1.078,33	409,97	15,21	2.587,98	3,71
	M_AC_1.4	1.044,64	655,90	1.060,51	404,61	15,87	2.576,68	3,92
	M_AC_1.5	1.043,33	654,98	1.061,59	406,61	18,26	2.560,79	4,49
	M_AC_1.6	1.029,58	645,61	1.049,71	404,10	20,13	2.542,74	4,98
	Média	1.048,17	658,34	1.065,11	406,77	16,94	2.571,60	4,17
AZUL VALVERDE	V_AB_1.1.	1.036,38	649,24	1.042,49	393,25	6,11	2.630,15	1,55
	V_AB_1.2.	1.033,95	647,88	1.040,07	392,19	6,12	2.631,08	1,56
	V_AB_1.3.	1.038,04	652,89	1.046,13	393,24	8,09	2.634,43	2,06
	V_AC_1.4.	1.038,53	650,19	1.044,89	394,70	6,36	2.625,93	1,61
	V_AC_1.5.	1.035,09	649,53	1.042,11	392,58	7,02	2.631,36	1,79
	V_AC_1.6.	1.034,53	648,20	1.040,34	392,14	5,81	2.632,89	1,48
	Média	1.036,09	649,66	1.042,67	393,02	6,59	2.630,97	1,68

Quadro 24 – Massa volúmica aparente e porosidade aberta – instante T3 (após 100% do tempo decorrido)

No quadro 25 estão apresentadas as amostras ensaiadas e evolução de pontos notáveis observados com recurso a lupa, referentes ao vidro de Moleanos e azul Valverde.

Identificação	T3 - Após 100% do tempo de manutenção decorrido		Identificação	T3 - Após 100% do tempo de manutenção decorrido			
	Imagem Lupa 45 x 21 mm	Descrição visual		Imagem Lupa 45 x 21 mm	Descrição visual		
M O L E A N O S	M_AB_1.1.		1. Ausência de brilho; 2. Textura menos macia face à amostra base; 3. Mais cristais visíveis; 4. Perda de material à superfície 5. Sem alterações significativas face a T2	A Z U L V A L V E R D E	V_AB_1.1.		1. Apresenta perda de brilho e aspeto manchado (baço); 2. Textura rugosa; 3. Pequenas manchas esbranquiçadas e perda de material visível a olho nú 4. Desgaste/riscos visíveis
	M_AB_1.2.		1. Apresenta ausência de brilho; 2. Textura menos macia face à amostra base; 3. Mancha pontual de óxido de ferro mantida; 4. Perda de material à superfície 5. Poros mais visíveis face a T2		V_AB_1.2.		1. Apresenta perda de brilho; 2. Textura menos macia face à amostra base; 3. Estrutura fechada mas com perda de material face a T2
	M_AB_1.3.		1. Apresenta ausência de brilho; 2. Textura menos macia face à amostra base; 3. Poros mais visíveis face a T1		V_AB_1.3.		1. Apresenta perda de brilho e aspeto manchado (baço); 2. Textura menos macia face à amostra base; 3. Perda de material à superfície visível a olho nú e com profundidade idêntica a T2 4. Desgaste/riscos visíveis 5. Manchas esbranquiçadas e rugosas
	M_AC_1.4.		1. Apresenta ausência de brilho; 2. Textura menos macia face à amostra base; 3. Manutenção de manchas castanhas (fe) face a T2		V_AC_1.4.		1. Apresenta perda de brilho; 2. Textura menos macia face à amostra base; 3. Perda de material à superfície visível a olho nú embora mais cavado e extenso face a T2 4. Desgaste/riscos visíveis
	M_AC_1.5.		1. Apresenta ausência de brilho; 2. Textura menos macia; 3. Apresenta poros e faltas de material à superfície; 4. Desgaste na aresta com perda de material		V_AC_1.5.		1. Apresenta perda de brilho; 2. Textura menos macia; 3. Pequena manchas branca; 4. Superfície riscada mas homogênia 5. Poucas alterações face a T2
	M_AC_1.6.		1. Apresenta ausência de brilho; 2. Textura menos macia face à amostra base; 3. Desgaste superficial 4. Aparecimento de mancha de óxido de ferro à superfície		V_AC_1.6.		1. Apresenta perda de brilho; 2. Textura menos macia; 3. Perda de material à superfície mais cavado que em T2 4. Desgaste/riscos visíveis mas estrutura homogênia

Quadro 25 – Vidraço de Moleanos e azul Valverde - análise macroscópica após decorrido 100% do tempo de manutenção

### 6.11. Análise de resultados

Após concluída a simulação de manutenção e respetivos ensaios das litologias de vidro de Moleanos e azul Valverde, importa agora avaliá-los com o possível detalhe, suportado pelas inspeções realizadas e campanhas laboratoriais efetuadas.

Genericamente o vidro de Moleanos é reconhecido por oferecer uma resistência mecânica sofrível, assim como uma porosidade elevada colocando em causa e a curto prazo, o seu bom desempenho. No entanto, ao sujeitar este vidro à simulação de manutenção agressiva e desgaste moderado, equivalente a uma utilização doméstica, verificou-se que a massa volúmica aparente apresentou uma tendência de aumento ao longo do período em análise, tendo a porosidade aberta demonstrando a tendência inversa. Uma das amostras não se encontra alinhada neste propósito, no entanto é desprezável atendendo ao critério de análise definido, assente na média e conjunto das amostras, e não isolada ou comparativamente entre si. Na figura 87 apresenta-se graficamente a evolução da massa volúmica aparente das amostras de vidro de Moleanos sujeitas a ensaio.

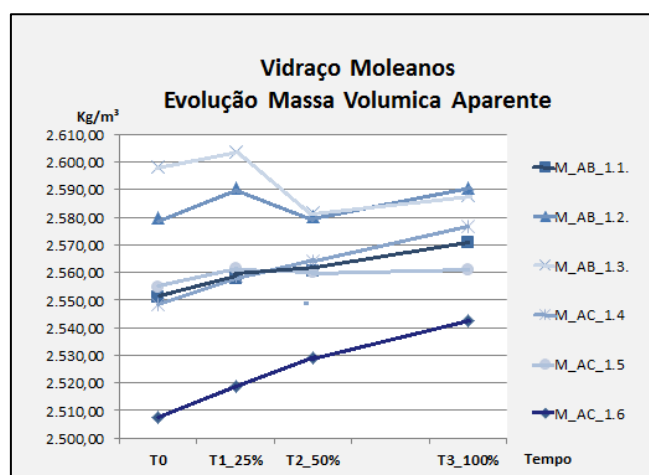


Fig. 87 – Vidraço de Moleanos - evolução da massa volúmica aparente

Atendendo à duração limitada do ensaio, correspondente a um ano de manutenção e à própria dimensão da amostra, poder-se-á dizer que a tendência futura de evolução da massa volúmica aparente será crescente. Nas figuras 88,89 e 90, e para cada uma das amostras, encontra-se a propensão de evolução deste parâmetro num contexto de médio prazo.

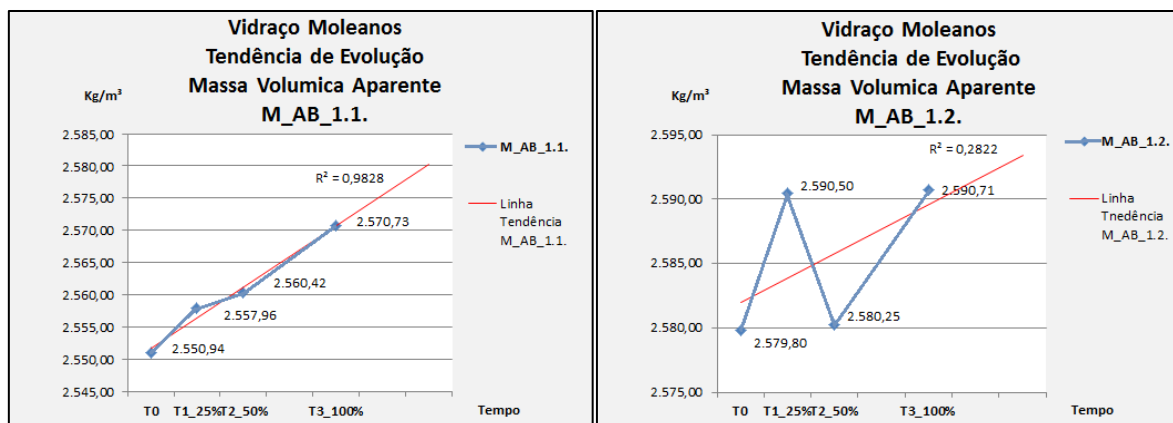


Fig. 88 – M\_AB\_1.1. e M\_AB\_1.2. – Tendência de evolução da massa volúmica aparente

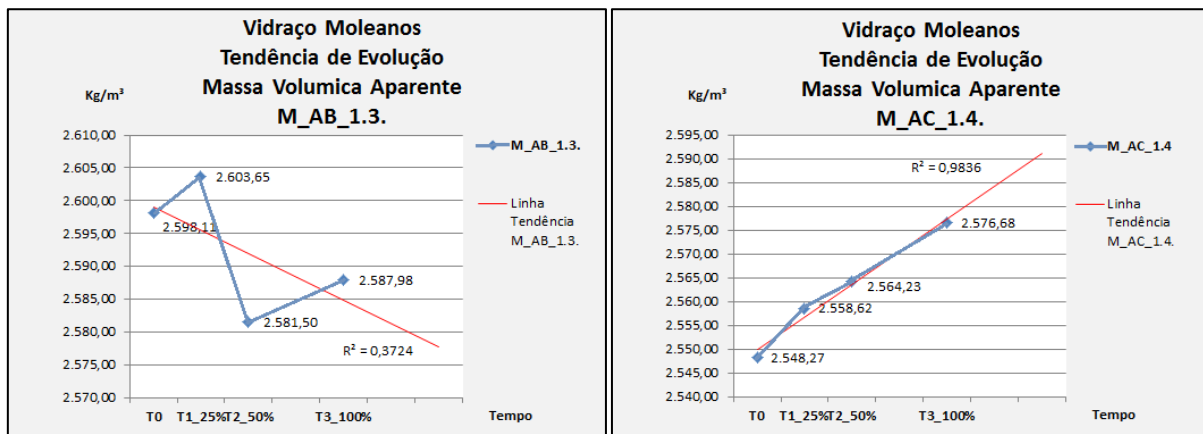


Fig. 89 – M\_AB\_1.3. e M\_AC\_1.4. – Tendência de evolução da massa volúmica aparente

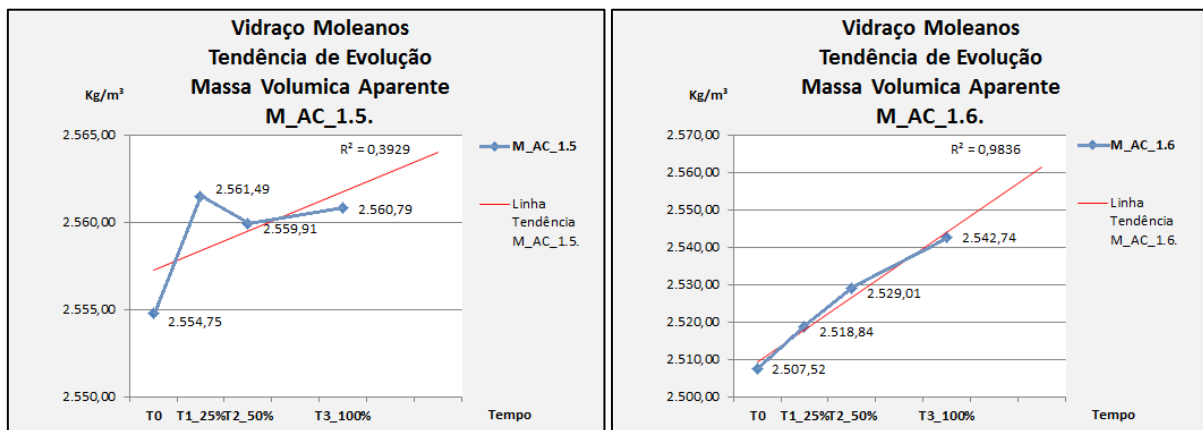


Fig. 90 – M\_AC\_1.5. e M\_AC\_1.6. – Tendência de evolução da massa volúmica aparente

Analisando os gráficos acima apresentados e não considerando a amostra M\_AB\_1.3., existe um comportamento tendencial de subida dos valores referentes à massa volúmica aparente correspondente a um acréscimo médio de aproximadamente 20 Kg/m<sup>3</sup>.

Em primeira análise e tratando-se de uma pedra com porosidade elevada, poderíamos levemente concluir que após exposição a manutenção menos apropriada e desgaste pedonal, os resultados tenderiam eventualmente em sentido oposto, o decréscimo da massa volúmica aparente e o aumento da porosidade poderiam ser encarados como um comportamento intuitivo.

Embora seja uma realidade a diminuição da porosidade, associada por exemplo, a peitoris calcários que, sem qualquer tratamento posterior, manifestam ao longo do tempo melhores *performances*, não seria imediata, conclusão idêntica no âmbito da presente dissertação dada as componentes adicionais relativas ao desgaste e à utilização de produtos de limpeza agressivos.

Após análise mais cuidada e suportada pelos ensaios efetuados, verifica-se o contributo e importância do sistema de capilares da pedra, sua dimensão e interligação neste contexto.

Considerando os ciclos de molhagem e secagem a que as amostras foram sujeitas, sais solúveis ou mesmo, a solubilização do material da superfície pelos produtos de limpeza utilizados durante este período, fazem com que estes se desloquem para o seu interior e permaneçam aí retidos após evaporação do líquido transportador.

Esta associação, conduz à tendência de resultados obtidos: a colmatação de poros, contribui para o aumento da massa volúmica aparente e simultaneamente para a diminuição da porosidade aberta à custa de danos na superfície, materializados no estudo macroscópico efetuado.

Outro fator que também pode ter tido influência dos resultados obtidos, pode estar associado à forma de execução da simulação idealizada para o pisoteio. O uso de um esfregão, embora macio, pode ter contribuído para o desprendimento de micropartículas à superfície que, transportadas pela água preencheram os capilares da pedra contribuindo também para a tendência de resultados obtida. Esta componente poderá ter tido principal influência nos primeiros dias de ensaio, conforme se pode observar no gráfico apresentado na figura 91.

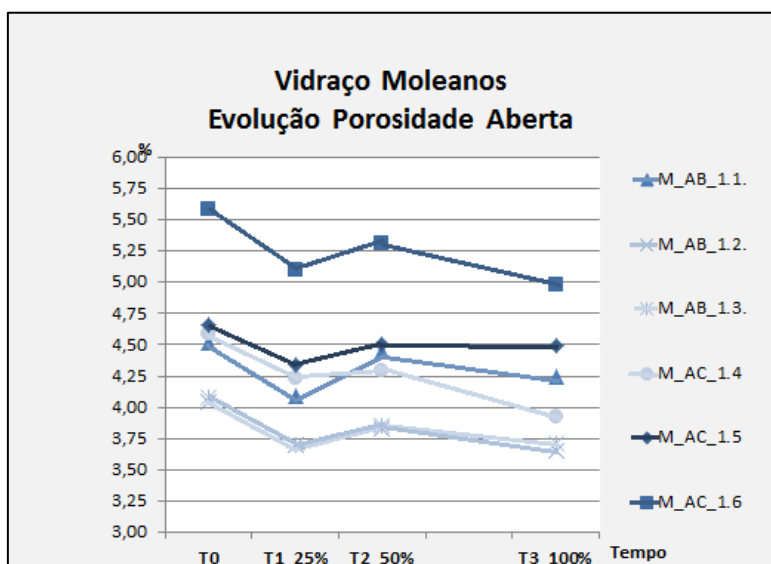


Fig. 91 – Vidraço de Moleanos - evolução da porosidade aberta

Posteriormente, e ao instante T2, relativo a 15 dias de ensaio ou 26 semanas reais de manutenção, a porosidade aberta apresentou um acréscimo médio de 0,2% em valor absoluto, mas aquém dos valores iniciais. Após decorrido o tempo total de ensaio, correspondentes a 52 semanas e 208 operações de uso e manutenção, os

resultados da porosidade aberta voltam a baixar 0,41% face aos obtidos no instante T0, antes de qualquer procedimento.

À semelhança do efetuado para a massa volúmica aparente, apresenta-se nas figuras 92, 93 e 94 e para cada uma das amostras, a tendência de evolução da porosidade aberta espectável num futuro próximo.

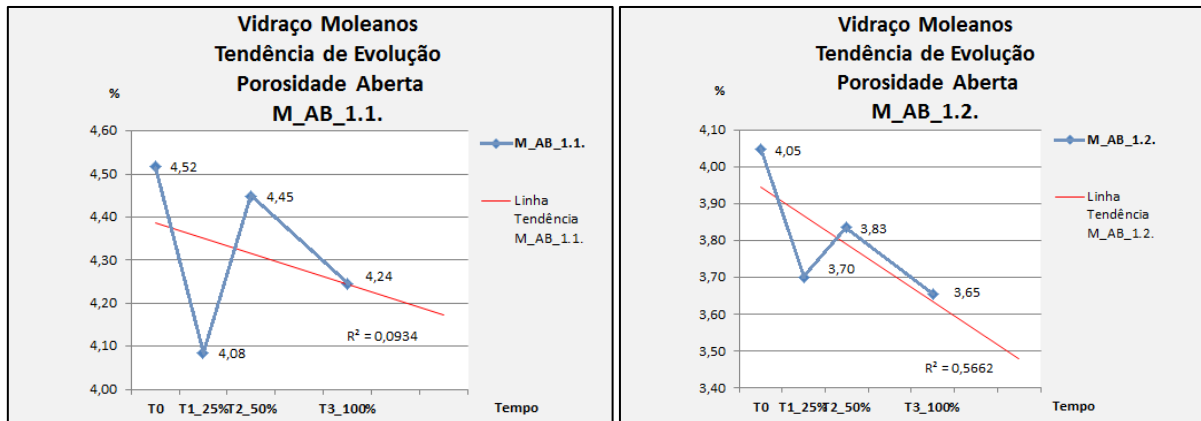


Fig. 92 - M\_AB\_1.1. e M\_AB\_1.2. – Tendência de evolução da porosidade aberta

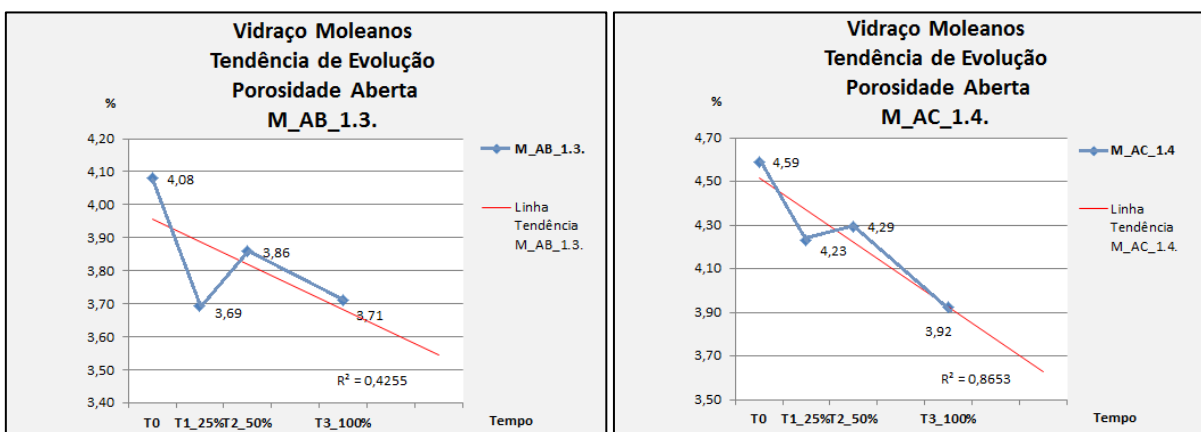


Fig. 93 - M\_AB\_1.3. e M\_AC\_1.4. – Tendência de evolução da porosidade aberta

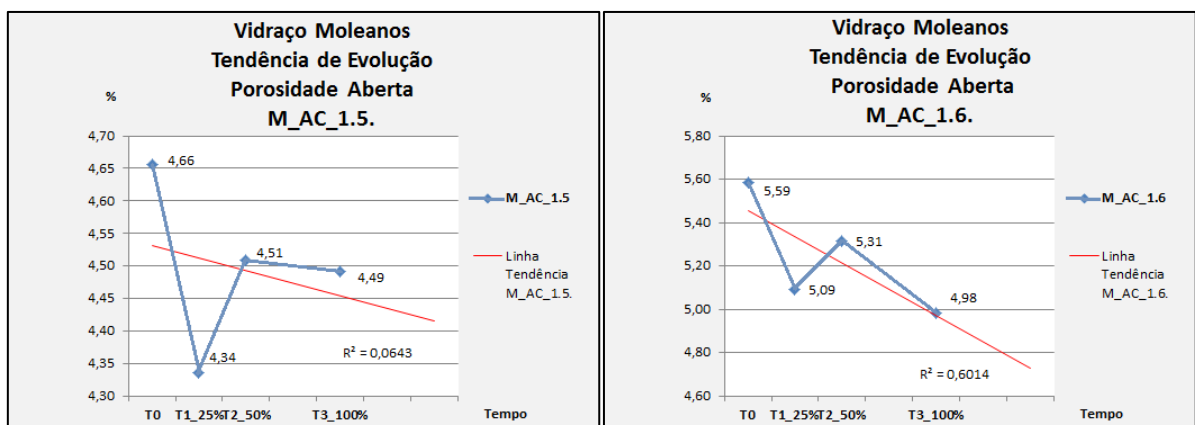


Fig. 94 - M\_AC\_1.5. e M\_AC\_1.6. – Tendência de evolução da porosidade aberta

Poder-se-á dizer que, para as amostras ensaiadas de vidraço de Moleanos há uma tendência média de comportamento semelhante, sendo de realçar também a

uniformidade de aspeto das amostras após ensaios. Riscos associados ao desgaste, e menor intensidade de brilho, são constatações imediatas na sua observação. No entanto e do ponto de vista estético, manchas, cavidades, irregularidades significativas ou perceptíveis na sua superfície, são inexistentes, o que poderá contribuir para uma apreciação positiva do seu comportamento, embora circunscrito neste contexto – pedra *per si*.

Na figura 95, pode observar-se uma das amostras de vidraço de Moleanos nos vários instantes de análise (T0 a T3).



Fig. 95 – Vidraço de Moleanos - evolução do aspeto superficial do provete M\_AB\_1.1.

Para o azul Valverde, verificou-se igualmente um decréscimo da porosidade aberta. Em contrapartida, a massa volúmica aparente diminuiu na maioria dos provetes ensaiados, conduzindo a uma tendência de redução de  $4,8 \text{ Kg/m}^3$  de valor médio (excluindo V\_AB\_1.3.).

Na figura 96 encontra-se apresentada a evolução da massa volúmica aparente ao longo do ensaio.

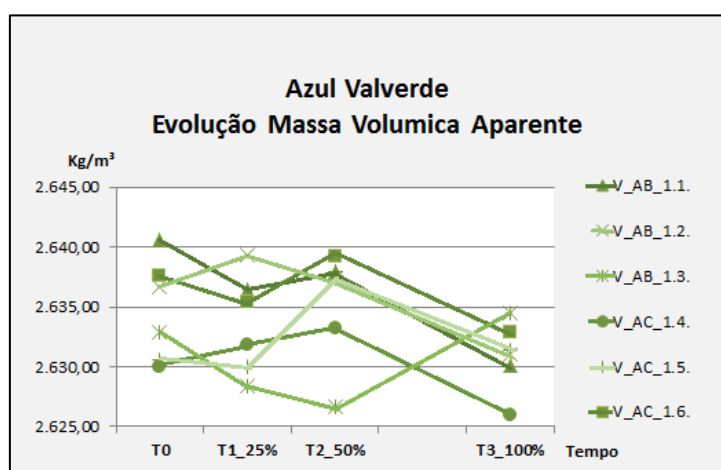


Fig. 96 – Azul Valverde - evolução da massa volúmica aparente

Por comparação gráfica, o azul Valverde apresenta uma evolução menos uniforme face ao obtido para o vidroço de Moleanos, manifestando um comportamento mais irregular, mas tendencialmente de decréscimo na maioria das amostras como previsão a médio prazo. Nas figuras 97, 98 e 99 encontra-se representada a tendência futura.

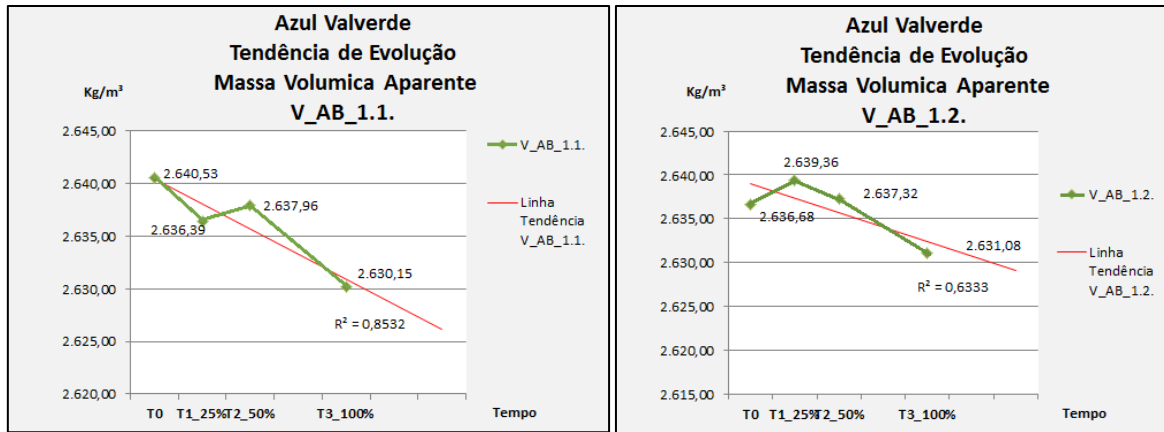


Fig. 97 – V\_AB\_1.1. e V\_AB\_1.2. – Tendência de evolução da massa volúmica aparente

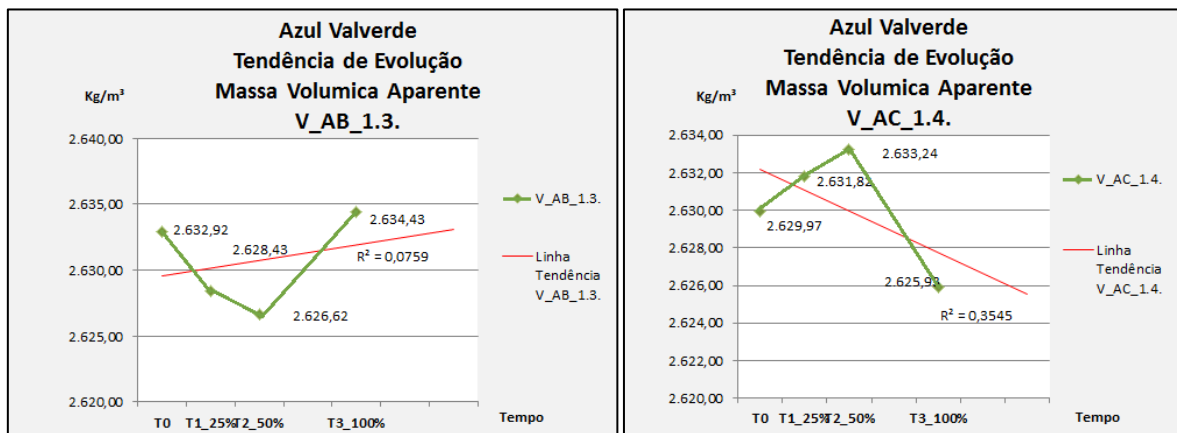


Fig. 98 – V\_AB\_1.3. e V\_AC\_1.4. – Tendência da evolução da massa volúmica aparente

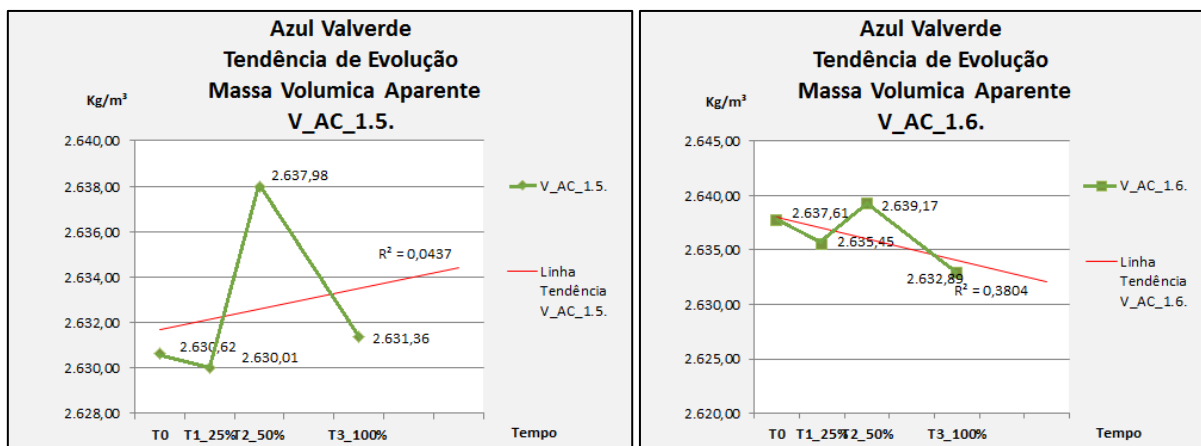


Fig. 99 – V\_AC\_1.5. e V\_AC\_1.6. – Tendência de evolução da massa volúmica aparente

Neste caso o sistema de capilares teve um contributo distinto para a obtenção dos valores da massa volúmica pós ensaio. Contudo esta conclusão não deve ser

retirada sem o devido enquadramento na proporcionalidade dos valores obtidos. A dimensão reduzida da amostra e os resultados tornam-se irrelevantes e insuficientes para suportar qualquer conclusão neste domínio.

Em contrapartida, os resultados obtidos para a evolução da porosidade aberta do azul Valverde sujeito a ensaio, apresentaram-se mais significativos correspondendo a uma redução média de 0,58% em valor absoluto, correspondente a 25% de redução.

Esta particularidade poderia à primeira vista conduzir a uma conclusão irrealista de melhoria do próprio comportamento da pedra neste domínio dada esta ser uma das características mais marcantes associadas às pedras calcárias - a sua porosidade.

Pelo contrário, tendo o sistema de capilares intercomunicantes (porosidade aberta) ter ficado significativamente mais preenchido, ainda que sem o aumento da sua massa volúmica aparente, poderá significar que sais solúveis provenientes dos produtos utilizados tenham chegado ao interior através da água, acumulando, cristalizando e evaporando à superfície.

À custa de uma erosão interna, poderá ser potenciada a deterioração da pedra à superfície.

Na figura 100, pode observar-se a evolução da porosidade aberta para o azul Valverde.

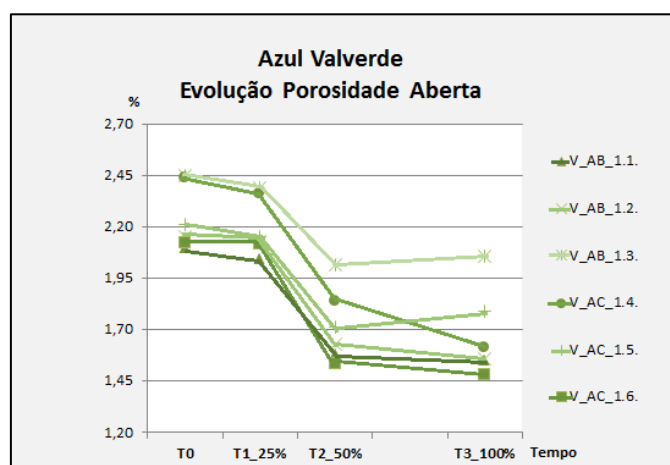


Fig. 100 – Azul Valverde – evolução da porosidade aberta

À semelhança do processo adotado para o vidro Moleanos, também aqui é perspetivada a possível evolução da porosidade aberta caso houvesse continuidade do procedimento de manutenção.

Nas figuras 101 a 103, identifica-se a tendência de evolução desse parâmetro.

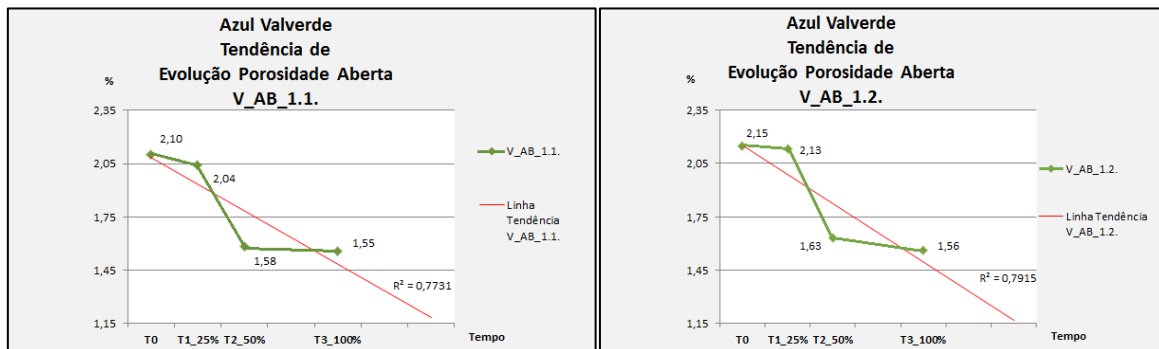


Fig. 101 – V\_AB\_1.1. e V\_AB\_1.2. – Tendência de evolução da porosidade aberta

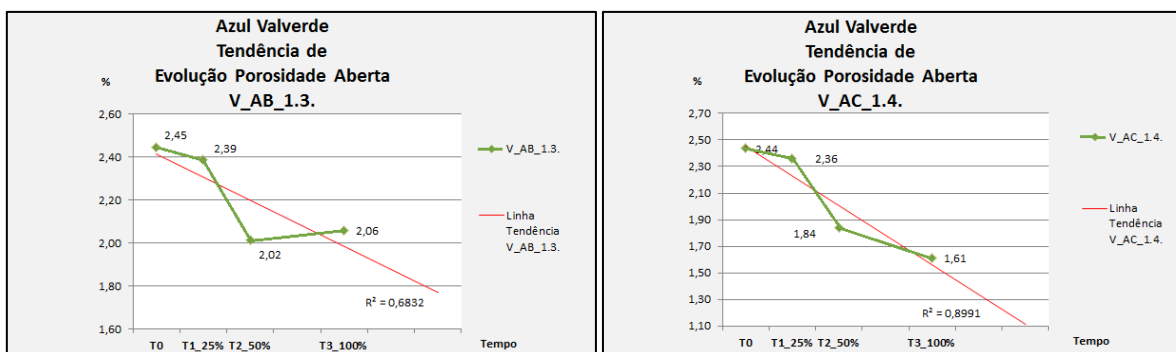


Fig. 102 – V\_AB\_1.3. e V\_AC\_1.4. – Tendência de evolução da porosidade aberta

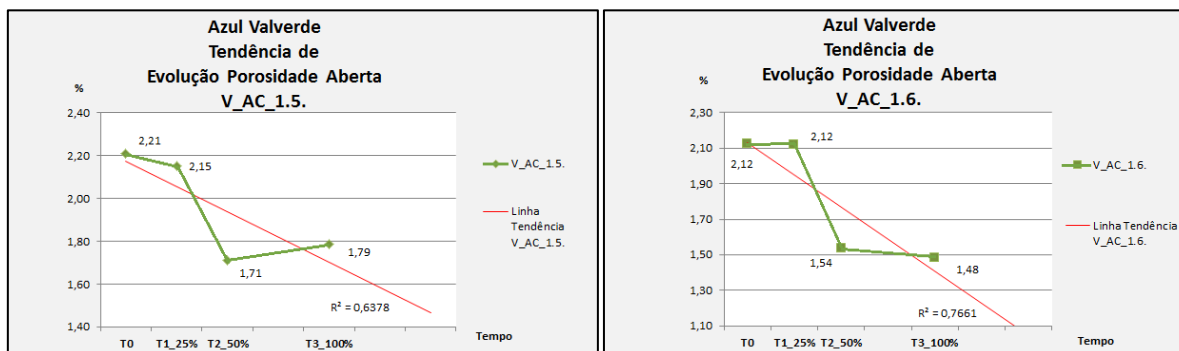


Fig. 103 – V\_AC\_1.5. e V\_AC\_1.6. – Tendência de evolução da porosidade aberta

Como complemento ao anteriormente referido, e no caso do azul Valverde, poder-se-á concluir que a redução da porosidade aberta foi conseguida em detrimento da estabilidade da pedra e homogeneidade da sua superfície, pese embora não seja possível retirar conclusões diretas deste registo através dos valores obtidos, dada a reduzida dimensão da amostra. No entanto esta conclusão, pode ser justificada através da evolução macroscópica efetuada e registada anteriormente e também aqui complementada pela figura 104.

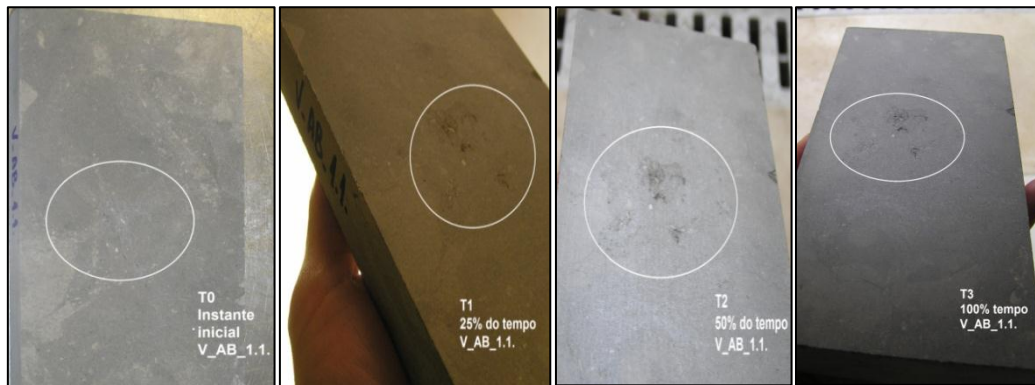


Fig. 104 – Azul Valverde – evolução do aspeto superficial do provete V\_AB\_1.1.

Comparativamente e apesar do vidro de Moleanos apresentar características físico-mecânicas inferiores ao azul Valverde, e no âmbito do ensaio efetuado, pode dizer-se que após manutenção e do ponto de vista estético, a litologia azul Valverde apresentou um comportamento mais sofrível, decorrente do processo de manutenção adotado.

## **7. CONCLUSÕES**

### **7.1. Considerações finais**

Atesta-se a pedra natural calcária como material de revestimento, desde que o processo de controlo e de rastreio associado à sua exploração, transformação e seleção, assim como de todos os materiais e métodos inerentes ao seu assentamento, façam parte de um conjunto, devidamente controlado.

O quadro patológico identificado no trabalho de campo permite retirar consequências não só quanto ao tipo de medidas a tomar pelos vários intervenientes, tendo em atenção o minimizar dos riscos e os custos associados à sua resolução, como também permite que o tríplice cenário de percurso – conceção, execução e exploração – faça parte da solução e seja dela indissociável.

A criação de um plano de manutenção evolutivo e transversal a todas as fases de um empreendimento, é o garante de que os riscos associados à patologia do revestimento de piso em pedra calcária serão minimizados.

Por verificação experimental, as litologias de azul Valverde e vidro de Moleanos, (amplamente utilizadas como revestimento de piso) foram sujeitas à exposição de um esquema de manutenção agressivo correspondente a um ano de utilização. Concluiu-se que nem sempre as pedras calcárias que apresentam inferiores características (como parâmetros associados à porosidade aberta) se apresentam como piores opções de revestimento em detrimento de outras. Genericamente, o vidro de Moleanos é conotado como de resistência sofrível e associado a uma porosidade elevada. Este facto poderia levar, neste contexto, a conclusões precipitadas sobre o seu comportamento. No entanto, verificou-se um melhor comportamento desta litologia face à de azul Valverde, apresentando esta, após ensaio, uma tendência de evolução menos uniforme, uma ligeira diminuição da sua massa volúmica aparente e uma significativa redução da porosidade aberta. Poder-se-á concluir que esta tendência foi alcançada em detrimento da estabilidade da pedra e homogeneidade da sua superfície, atestada pelo estudo macroscópico efetuado ao longo do período em análise. Salienta-se, contudo, que estas conclusões são um ponto de partida para um estudo mais aprofundado, que deverá ser complementado através da análise química dos materiais, um maior universo temporal de avaliação assim como maior número de pontos de leitura intermédios que fundamentem uma análise mais rigorosa.

## 7.2. Desenvolvimentos futuros

De futuro, admite-se como útil o desenvolvimento de um estudo que teste e avalie, as consequências dos produtos de limpeza, sobre a superfície de revestimento em pedra natural, considerando, no entanto, o revestimento de pavimento pétreo como um sistema. Porém, atendendo à limitação temporal imposta, esta não foi uma variável contemplada na presente dissertação.

A caracterização prévia dos componentes que fazem parte do sistema de revestimento: a argamassa de base, o adesivo de ligação, o posterior tratamento de juntas e a própria pedra, assim como o estudo complementar dos produtos de limpeza selecionados, deveriam ser equacionadas. Posteriormente, a análise recairia sobre a sensibilidade do conjunto aos produtos de limpeza utilizados e as suas implicações nas características dos materiais. Faria todo o sentido, neste contexto, a execução de ensaios de capilaridade a par da análise da sua composição química.

Desta forma e independentemente das solicitações externas, seria também avaliada a suscetibilidade dos constituintes desses materiais à troca contínua de água e/ou vapor de água, que atravessa as várias camadas do sistema de revestimento. Essas trocas, complementadas pela agressividade dos produtos eleitos, e após ensaios específicos, conduziram, certamente, a conclusões inequívocas sobre o tipo de substâncias e seu transporte até à superfície, eventualmente manifestadas através de eflorescências, solúveis ou não, e colaterais consequências internas e à superfície da pedra.

Esta abordagem, certamente traria um novo entendimento sobre a patologia associada à pedra calcária resultante de manutenção desadequada.

Num enquadramento não laboratorial, e tendo em conta a importância do controlo de qualidade, também ele abordado ao longo da presente dissertação, sugere-se a elaboração de um protótipo de plano de manutenção evolutivo e consequente, correspondente às diferentes fases da vida útil de um empreendimento, na vertente dos revestimentos pétreos. Projeto, construção, período de garantia e entrada em serviço, seriam os focos de análise. Este documento de consulta e evolução plena, disponibilizaria registos essenciais de suporte a futuras soluções e decisões, extremamente úteis, quer do ponto de vista técnico, quer económico, extensível a todas e quaisquer atividades que compõem um empreendimento.

## BIBLIOGRAFIA

AIRES-BARROS, Luís – **Cadernos - As rochas dos monumentos portugueses – tipologias e patologias** – Volume I - IPPAR, Lisboa, 2001. ISBN:972-8087-81-0 p.247

ALVES, António Martins – **Mineralogia e Geologia** – Apontamentos ISEL – 1982

ASHURST, John & Nicola – **Practical Building Conservation – Stone Masonry** – Vol. 1 – 1988 ISBN: 0 291 39745

BOLETIM DE MINAS Nº103, 4º Trimestre - 2011

CARVALHO, Jorge; MANUPPELLA Guiseppe ; MOURA, A. Casal – **Calcários ornamentais portugueses** - Boletim de Minas, volume 37, nº4 – Out/Dez 2001 - P.223-232.

CARVALHO, Jorge M. F. - In 1º Encontroharte - **Encontros de História da Arte da Antiguidade - 2012** – Cluster da pedra natural - LNEG, 2012

CHACON, Mark A. – **Architectural Stone – Fabrication, Installation and Selection** – John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 0-471-24659-X

COSTA, João Ramalho da Graça; MOREIRA, José Carlos Balacó ; MANUPPELLA Guiseppe – **Calcários Ornamentais do Maciço Calcário Estremenho** – Separata do Tomo XXX de “Estudos Notas e Trabalhos” do Laboratório e Serviço Fomento Mineiro Porto 1998.

FIGUEIREDO, José Miguel – **Guia Técnico – sector da pedra natural** – INETI 2001

FLORES-COLEN, Inês - 3º ENCORE – **Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios** – Actas – Vol.1 LNEC Maio de 2003 ISBN: 972-49-1960-9

FLORES-COLEN, Inês; BRITO, Jorge - **2º SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA, DURABILIDADE E REABILITAÇÃO DOS EDIFÍCIOS: “Aprendendo com os erros e defeitos da construção”** – Actas. LNEC Novembro de 2003 ISBN: 972-49-1982-X

FLORES, Inês dos Santos – **Estratégias de manutenção – Elementos da envolvente de edifícios correntes** – Tese de mestrado Fevereiro 2002

HENRIQUES, Fernando M. A.; RODRIGUES, José Delgado; AIRES-BARROS, Luís; PROENÇA, Nuno – **Materiais Pétreos e Similares – Terminologia das formas de alteração e degradação** – 3ª ed. Lisboa: LNEC 2011. ISBN: 978-972-49-2005-4

LAZZARINI, Lorenzo; TABASSO Marisa Laurenzi – **Il restauro della pietra** – CEDAM 1986. ISBN:88-13-15958-7

MAMILLAN, Marc – **Novos conhecimentos para a utilização e para a protecção da pedra na construção** – Tradução de António de Borja Araújo

MANUPPELLA, Giuseppe; MOREIRA, José Carlos Balecó; ROMÃO, Maria Luísa – **Calcários Portugueses sua utilização industrial** - Boletim de Minas, volume 18, nº4 – Out/Dez1981

MARQUES, Marco António; RODRIGUES, José Delgado ; MARQUES, Beatriz Lopes – **Degradação e Conservação da Pedra em Estruturas de Alvenaria** – Terminologia e conceitos petrográficos – 2ª ed. Lisboa: LNEC 2006. ISBN: 972-49-2004-6 p.1

MARTONNE, E de – **Tratado de Geografia Física** – Tradução Portuguesa in Panorama de Geografia, Vol. 1. Lisboa: COSME

MOURA, A. Casal – **Algumas notas para o conhecimento e utilização das rochas ornamentais portuguesas**. Revista Rochas e Equipamentos nº 77 1ºtrimestre. 2005.

NASCIMENTO, José Martins – **Exigências Funcionais de Revestimentos de Piso** – 3ªed. Lisboa: LNEC 2007. ISBN: 978-972-49-1114-4

NETO, Natália Margarida Lima – **Sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos em pedra natural** – Tese de Mestrado – IST – Abril de 2008

PERRET, Jean – **Guide de la Maintenance des Bâtiments** - Paris, Moiteur Référence Technique, 1995. ISBN: 2-281-11157-1.

PINTO, Alberto Cruz Reaes et al - **Manual da pedra natural para a arquitetura** - Direção Geral de Geologia e Energia, Lisboa 2006. ISBN:989-95163-0-9

PINTO, Ana Paula Ferreira; RODRIGUES, José Delgado - 3º ENCORE – Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios – actas – **Hidrofugação da pedra, recomendações para a optimização da relação eficácia/custo** - Vol.1 LNEC Maio de 2003 ISBN: 972-49-1960-9

RICARDO, Sandra Maria Machado Roque dos Reis – **Modelo de garantia de qualidade de revestimentos em pedra natural de paramentos verticais** - Tese de mestrado IST – Julho 1992

RICHARDSON, Barry A – **Remedial Treatment of buildings** – The construction press – 1890 ISBN: 0-904406-74-1

ROCHAS E EQUIPAMENTOS Nº 103 - 4º trimestre 2011

SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz – **Calcário e Dolomito** – CETEM, 2008 2ªEd

SILVESTRE, J., Brito, J – **Juntas utilizadas em Revestimentos Cerâmicos Aderentes (RCA)**, Congresso Construção 2007 – 3º Congresso Nacional, Universidade de Coimbra

**Catálogo das Rochas Ornamentais Portuguesas** – disponível em [www:URL:  
http://rop.ineti.pt/rop/](http://rop.ineti.pt/rop/) (Nov\_2012)