



A pedra da Igreja do Mosteiro de Travanca: diagnóstico das deteriorações e proposta de intervenção e manutenção

Arlindo Begonha*, Hugo Novais** e Rosário Correia Machado***

RESUMO

No presente trabalho caracterizam-se as deteriorações da pedra da fachada e dos alçados da Igreja do Mosteiro de Travanca e apresenta-se uma proposta de intervenção no monumento. De forma a obter soluções tecnicamente fundamentadas, foram descritas e cartografadas as litologias e as deteriorações. A amostragem, com posterior recurso à microscopia eletrónica de varrimento (MEV/EDS), permitiu a identificação dos minerais de sais solúveis, principais responsáveis pelos processos de degradação pétreo. Foi ainda possível caracterizar o meio poroso de pedras de granito usadas no edificado, através do recurso ao porosímetro de mercúrio.

PALAVRAS-CHAVE

Travanca, granito, deteriorações da pedra, minerais de sais solúveis, proposta de intervenção.

ABSTRACT

In this study are presented the deteriorations of the stone façade and elevations of the Church of the Monastery of Travanca, as well as an intervention proposal in the monument. In order to obtain technically based solutions, lithologies and deteriorations were described and charted. The samples, analysed by scanning electron microscopy (SEM/EDS), allowed the identification of minerals soluble salts, main responsible for the stone degradation process. It was also possible to characterize the porous granite stones used in the building, through the use of mercury porosimetry.

KEYWORDS

Travanca, granite, stone deteriorations, minerals of soluble salts, intervention proposal.

* Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

** Professor do Agrupamento de Escolas Dr. Mário Fonseca, Lousada.

*** Diretora da Rota do Românico.

1. INTRODUÇÃO

O presente documento refere-se aos trabalhos de diagnóstico das deteriorações da pedra da Igreja do Mosteiro de Travanca, bem como à proposta de estratégias de intervenção no edificado.

1.1. LOCALIZAÇÃO

O Mosteiro de Travanca encontra-se na respetiva freguesia, no concelho de Amarante, distrito do Porto. O principal acesso é feito a partir da Estrada Nacional n.º 15, servida pelas autoestradas A4 e A11.

1.2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

A Igreja do Mosteiro do Salvador de Travanca é um edifício de três naves, dos poucos que, durante a época românica, foram construídos em Portugal. A monumentalidade da Igreja é reforçada pelos motivos escultóricos aí existentes e pela presença de

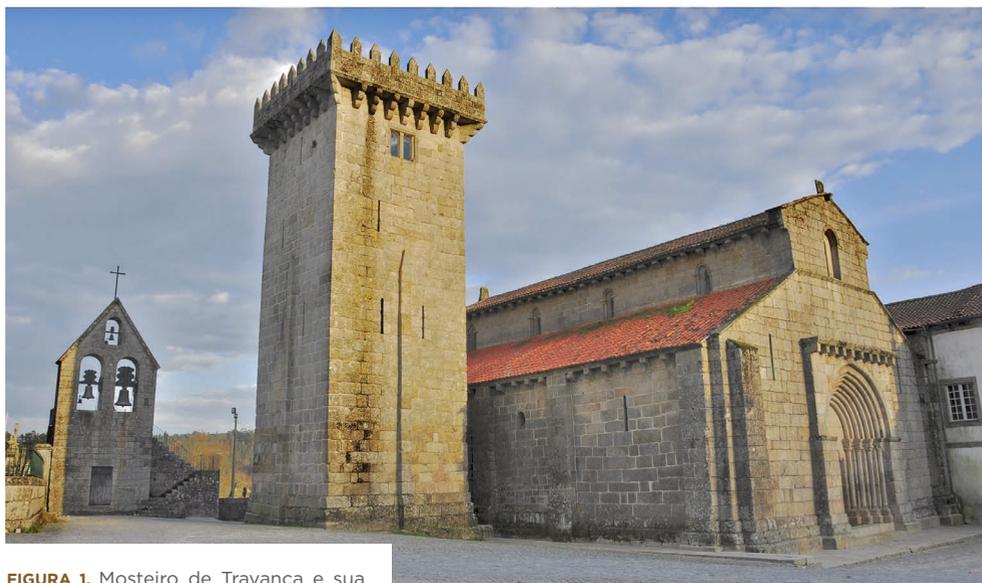
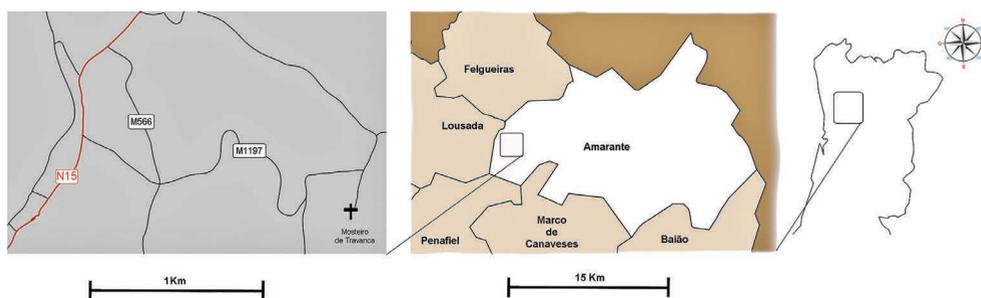


FIGURA 1. Mosteiro de Travanca e sua localização no distrito do Porto e no concelho de Amarante.

uma Torre, a mais elevada da época medieval portuguesa. As três naves são definidas por quatro tramos e cobertura de madeira sobre arcos-diafragma. A Igreja apresenta uma cabeceira composta por dois absidiolos abobadados, de planta semicircular. Estes ladeiam a capela-mor, profunda e retangular, resultante de alterações efetuadas durante a Época Moderna. A fundação do Mosteiro de Travanca é de cronologia incerta. O consenso académico atribui a sua construção ao intervalo entre 1008 e 1066. Os séculos seguintes são marcados pelo aumento da influência do Mosteiro. A informação constante em livros de visitas e capítulos gerais permite constatar o impulso construtivo e reconstrutivo dos séculos XVI a XIX.

Em 1834, o regime liberal abortou a pujança do Mosteiro de Travanca, através da execução do decreto que extinguiu as ordens religiosas e nacionalizou os seus pertences (Botelho e Resende, 2014, pp. 242-247).

A 27 de janeiro de 1916, o Mosteiro de Travanca é declarado Monumento Nacional e, em 1939, publica-se o projeto da DGEMN – Direção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, dedicado a uma profunda reconstituição da Igreja românica de Travanca (Castro, 1939, p. 5). Em 2010, o Mosteiro de Travanca passa a integrar a Rota do Românico (Botelho e Resende, 2014, pp. 270-273).

Em 2011 foi efetuado um estudo das deteriorações da pedra do edificado, cujos resultados, interpretação e proposta de intervenção são divulgados no presente trabalho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho iniciou-se com visitas efetuadas entre fevereiro e maio de 2011. Nestas, procedeu-se ao levantamento fotográfico das litologias e ao estudo macroscópico das deteriorações da pedra. Simultaneamente, foram colhidas amostras para submissão posterior à microscopia eletrónica de varrimento e porosímetro de mercúrio.

2.1. CARTOGRAFIA DAS LITOLOGIAS E DETERIORAÇÕES

Para a elaboração da cartografia foi efetuado, na primeira visita, o levantamento fotográfico de paredes e alçados, sobre o qual se procedeu, posteriormente, a desenho assistido por computador. Nas visitas subsequentes projetaram-se os dados obtidos, que foram digitalizados após cada sessão de trabalho.

2.2. AMOSTRAGEM

Recolheram-se 36 amostras, designadas de TRV 01 a TRV 36, com o propósito de determinar a porometria de alguns tipos de rocha empregues no monumento, bem como de estabelecer as causas que estão na origem das diferentes deteriorações da pedra.

A descrição, localização e data de recolha das diversas amostras podem ser consultadas em Begonha e Novais (2011, pp. 20-26).

2.3. OBSERVAÇÃO E ANÁLISE AO MICROSCÓPIO ELETRÓNICO DE VARRIMENTO (MEV)

Vinte amostras foram estudadas por MEV no Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP), recorrendo a um microscópio modelo FEI Quanta FEG, equipado com sistema de microanálise por raios-X (EDS) Edax Pegasus X4M. Todas as amostras foram revestidas a ouro e paládio e observadas e analisadas por eletrões secundários, a 15 keV ou 10 keV, por períodos de tempo útil (*livetime*) iguais a 50 segundos.

2.4. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO POROSO

Para a determinação da porometria, em cinco amostras de pedras de granito, utilizou-se o aparelho AutoPore IV, da Micromeritics, do Laboratório de Caracterização e Certificação de Materiais Granulares do Instituto Pedro Nunes (IPNlabgran), da Universidade de Coimbra, que atua numa gama de pressões compreendida entre 0,5 e 33000 psia, permitindo, assim, a intrusão de mercúrio em poros e/ou fissuras de diâmetro e/ou largura compreendidos entre 360 μm , para a pressão mínima, e 60 Å , para a pressão máxima.

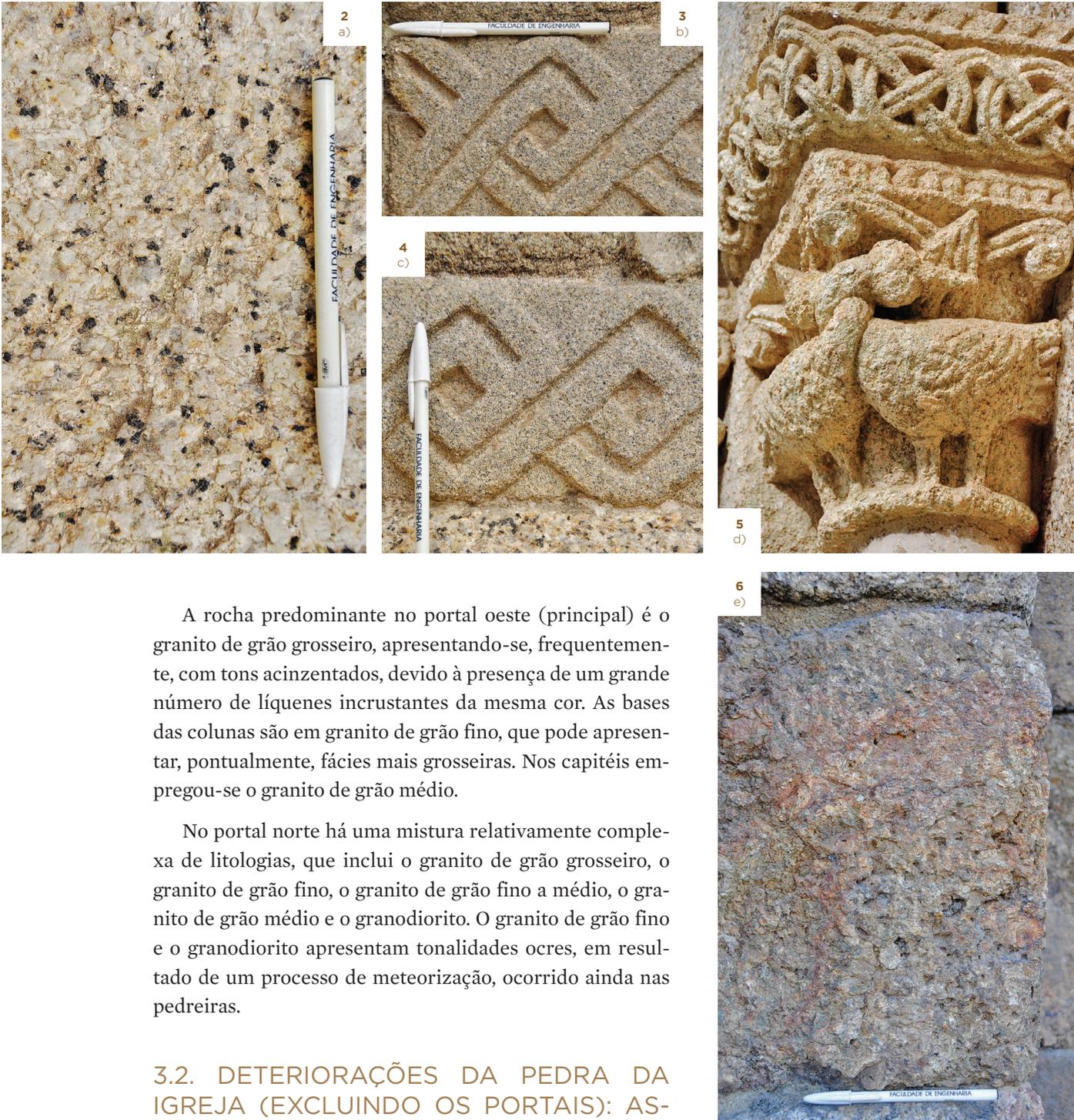
3. RESULTADOS

3.1. LITOLOGIAS: CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA E CARTOGRAFIA

No Mosteiro de Travanca utilizaram-se diversos tipos de rocha, nomeadamente:

- Granito de grão grosseiro, porfiroide, essencialmente biotítico, de tom bege, que se passará a designar por granito de grão grosseiro;
- Granito de grão fino, de duas micas, de cor cinza-escuro, que se passará a designar por granito de grão fino;
- Granito de grão fino a médio, essencialmente biotítico, que se passará a designar por granito de grão fino a médio;
- Granito de grão médio, de duas micas, de tom bege, que se passará a designar por granito de grão médio;
- Granodiorito porfiroide, muito meteorizado, de tom acastanhado claro, que se passará a designar por granodiorito.

O corpo da Igreja é constituído, essencialmente, por blocos de granito de grão grosseiro, sendo menos abundante o granito de grão fino. Este é raro na fachada, aumentando o seu número com a proximidade à cabeceira da Igreja, chegando a representar 12 fiadas da base das paredes da fachada norte.



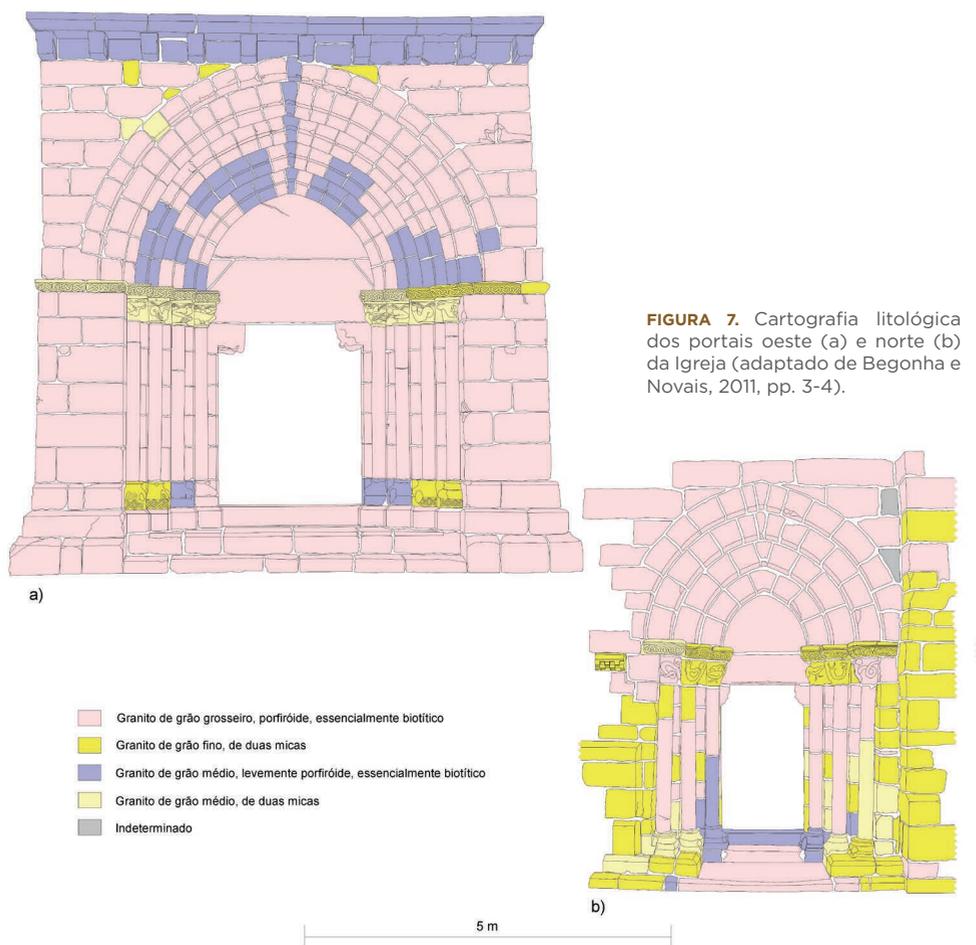
A rocha predominante no portal oeste (principal) é o granito de grão grosseiro, apresentando-se, frequentemente, com tons acinzentados, devido à presença de um grande número de líquenes incrustantes da mesma cor. As bases das colunas são em granito de grão fino, que pode apresentar, pontualmente, fácies mais grosseiras. Nos capitéis empregou-se o granito de grão médio.

No portal norte há uma mistura relativamente complexa de litologias, que inclui o granito de grão grosseiro, o granito de grão fino, o granito de grão fino a médio, o granito de grão médio e o granodiorito. O granito de grão fino e o granodiorito apresentam tonalidades ocre, em resultado de um processo de meteorização, ocorrido ainda nas pedreiras.

3.2. DETERIORAÇÕES DA PEDRA DA IGREJA (EXCLUINDO OS PORTAIS): ASPECTO MACROSCÓPICO, LOCALIZAÇÃO E CARTOGRAFIA

As deteriorações revelaram-se diversas, pelo que se optou por estudar em separado o corpo da Igreja, constituído por blocos graníticos simples, e os portais, importantes pela escultórica aí presente.

FIGURAS 2 A 6. Aspecto macroscópico das rochas graníticas aplicadas nos portais da Igreja e da Torre: a) granito de grão grosseiro; b) granito de grão fino; c) granito de grão fino a médio sobre bloco de granito de grão grosseiro; d) granito de grão médio; e) granodiorito (Begonha e Novais, 2011, p. 2).



No corpo exterior da Igreja a colonização biológica é intensa, observando-se o desenvolvimento de líquenes, musgos, plantas superiores, algas e fungos. De um modo geral, a desagregação granular é incipiente. As pedras afetadas por placas são em número muito reduzido. Algumas exibem fissuras. As juntas estão abertas nas fiadas inferiores, nomeadamente na primeira, segunda e terceira fiadas da fachada oeste. Em relação aos contrafortes da mesma fachada, cerca de metade das juntas encontra-se aberta no contraforte esquerdo e, quase na sua totalidade, no contraforte direito.

3.3. DETERIORAÇÕES DA PEDRA DOS PORTAIS OESTE E NORTE DA IGREJA: ASPECTO MACROSCÓPICO, LOCALIZAÇÃO E CARTOGRAFIA

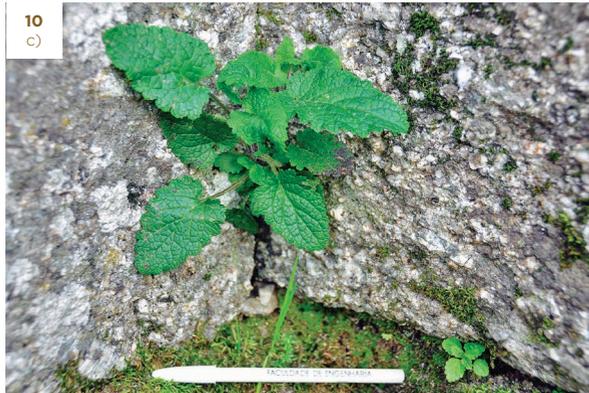
O portal oeste apresenta razoável estado de conservação, exceção feita à maior parte das pedras ao nível dos capitéis, mísulas e tímpano (entre os 2,6 e os 4,0 metros de altura), onde se observa desagregação granular de intensidade média a forte. As pedras afetadas por placas são em número bastante mais reduzido e localizam-se a cotas mais baixas (até 1,2 metros de altura). A colonização biológica é generalizada nas zonas mais expostas e quase inexistente nas zonas recuadas e menos expostas do portal. A colonização líquénica é a mais frequente, sendo ainda importante o desenvolvimento de algas e de musgos. Estes últimos crescem, preferencialmente, na cornija sobre o portal. As plantas superiores consistem em raras herbáceas. As fissuras também são raras e apresentam comprimento reduzido. Observam-se alguns elementos metálicos não estruturais e não funcionais, como pregos e arames, mas em número diminuto.



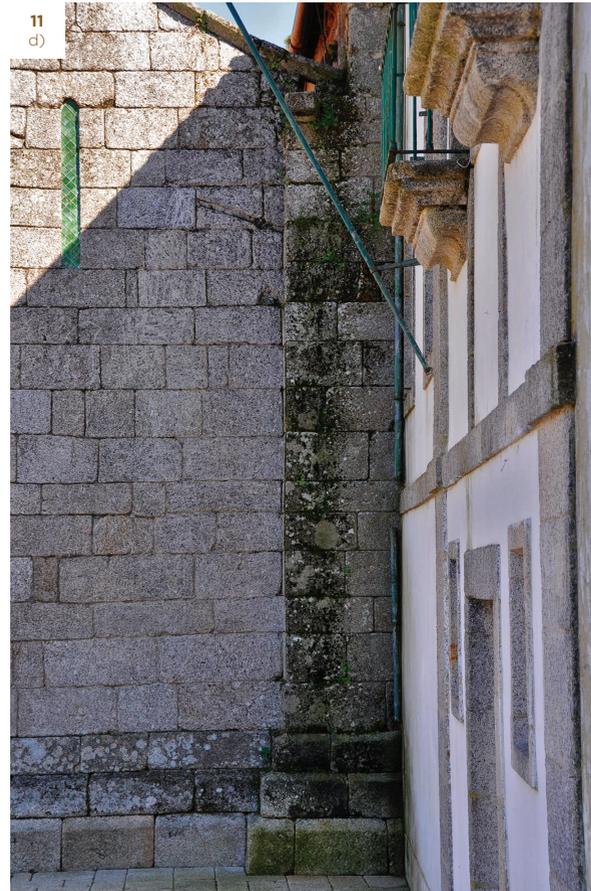
8 a)



9 b)



10 c)



11 d)



12 e)

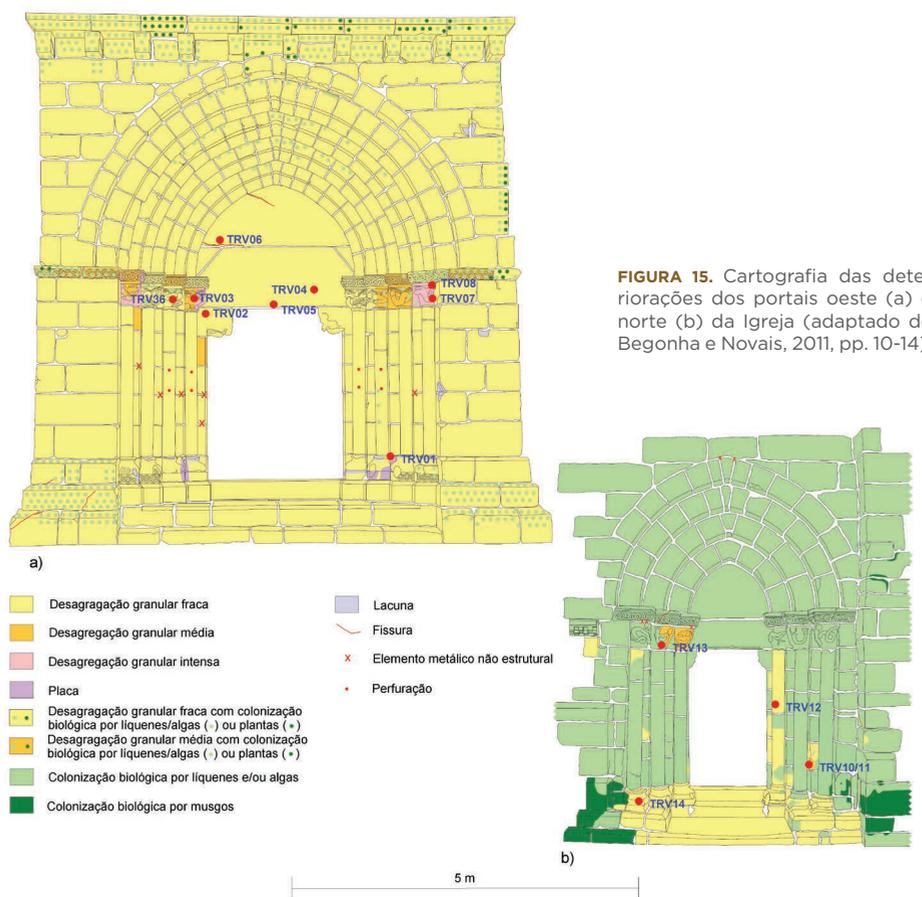


13 f)



14 g)

FIGURAS 8 A 14. Aspecto macroscópico das deteriorações da pedra das fachadas da Igreja: a) líquenes (fachada norte); b) musgos (fachada norte); c) planta superior (fachada oeste); d) algas (fachada oeste); e) desagregação granular (fachada oeste); f) placa (fachada norte); g) juntas abertas (fachada oeste) (Begonha e Novais, 2011, p. 6).



A maioria das pedras do portal norte encontra-se afetada por colonização biológica, principalmente líquénica, sendo frequentes os musgos e as algas. A desagregação granular é de intensidade fraca, à exceção de algumas pedras, localizadas entre os 2,6 e os 3,0 metros de altura, em que a intensidade se revela média. As fissuras e os elementos metálicos não estruturais e não funcionais (pregos) são raros.

3.4. DETERIORAÇÕES DA PEDRA DA TORRE (EXCLUINDO O PORTAL): ASPECTO MACROSCÓPICO E LOCALIZAÇÃO

Na fachada este, acima do portal, a pedra está, em geral, em bom estado de conservação e a desagregação é inexistente ou incipiente. Poucas pedras exibem colonização líquénica. As quatro primeiras fiadas a sul do portal estão colonizadas por musgos e líquenes, bem como as três primeiras que se encontram a norte do portal. Da sétima à décima fiada, a norte do portal, há um filme biológico de tonalidade acastanhada. É de assinalar que, num dos cachorros sob a cornija, no topo da fachada, há uma planta superior, para além de colonização biológica com algas e musgos. De notar a presença de um número significativo de fissuras, principalmente a sul do portal.

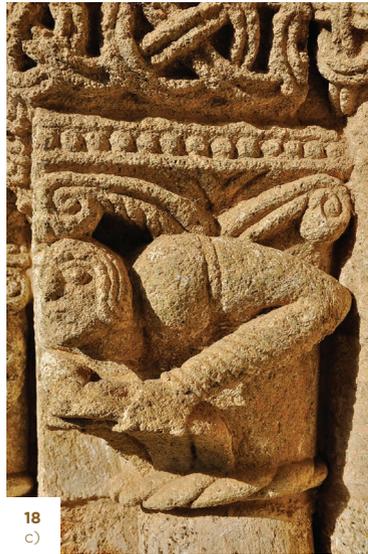
Na fachada norte, os blocos encontram-se em bom estado de conservação. Há líquenes e musgos até à quinta fiada. Sob a cornija, no topo, há a destacar a presença de líquenes, algas e musgos, bem como plantas superiores e ninhos de andorinhas. Os filmes biológicos de tonalidade acastanhada afetam as rochas da sexta à décima fiada, sendo



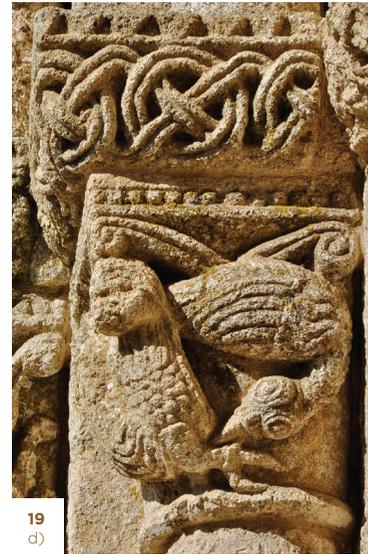
16
a)



17
b)



18
c)



19
d)



20
e)



21
f)



22
g)

este aspecto mais visível na parte este da fachada. Acima dos cachorros localizados sob a cornija, no topo, há colonização biológica com algas e musgos.

Na fachada oeste, o estado geral da pedra é bom. Ocorrem líquenes, musgos e algas até à quarta fiada. Nota-se ocorrência de água a partir do topo, de que resultou um filme biológico escuro, nos níveis superiores, e colonização líquénica, na parte inferior. A desagregação é incipiente. Um dos blocos de grande dimensão da sexta fiada, abaixo das duas janelas, apresenta forte recuo da superfície, provavelmente devido a desagregação granular. Ao nível dos cachorros, há a destacar colonização biológica com algas e musgos. Uma

FIGURAS 16 A 22. Aspecto macroscópico das deteriorações da pedra dos portais oeste e norte Igreja: a), b), c) e d) desagregação granular (portal oeste); e) e f) líquenes (portal oeste); g) elementos metálicos não estruturais e não funcionais (prego com arame) (portal oeste) (Begonha e Novais, 2011, p. 12).



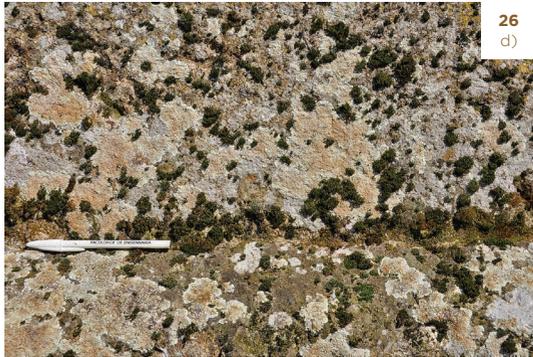
23
a)



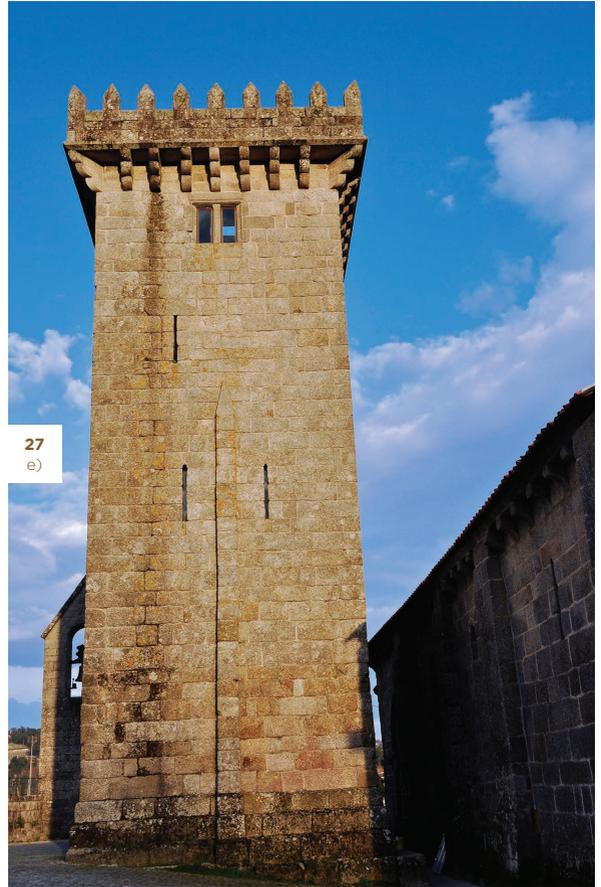
24
b)



25
c)



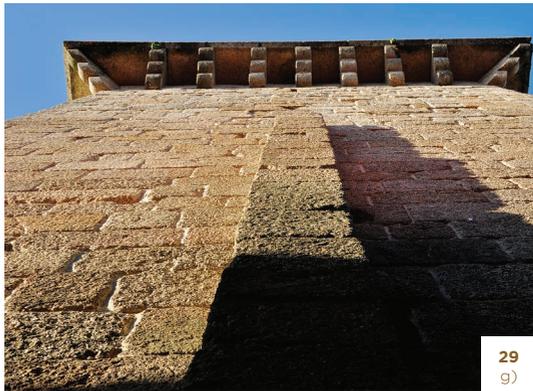
26
d)



27
e)



28
f)



29
g)

FIGURAS 23 A 29. Aspecto macroscópico das deteriorações da pedra das fachadas da Torre: a) pedras mais claras (limpas), situadas acima da cota correspondente à do beiral da Igreja, e forte recuo da superfície de algumas pedras (fachada sul); b) líquenes (fachada este); c) fissuras (fachada este); d) musgos e líquenes (fachada oeste); e) escorrência, filme biológico escuro e fissura; f) fissura (fachada oeste); g) pedras mais claras (limpas), situadas acima da cota correspondente à do beiral da Igreja, e afetadas por colonização biológica (suja), abaixo do mesmo (fachada sul) (Begonha e Novais, 2011, p. 8).

fissura de grande comprimento aparece na zona de escorrência, desenvolvendo-se ao longo das juntas. Pequenas fissuras afetam várias pedras.

No que concerne à fachada sul, as pedras que se encontram acima da cota correspondente à do beiral da Igreja, por se encontrarem expostas à ação da chuva, apresentam-se limpas e sem colonização biológica significativa. Muitas apresentam forte recuo da superfície, provavelmente devido a desagregação granular de intensidade forte. As pedras abaixo da cota do beiral da Igreja, protegidas da ação dos elementos, apresentam tonalidades mais escuras, devido à colonização biológica significativa de líquenes, algas, musgos e raras plantas superiores. No topo, acima dos cachorros, há colonização biológica com algas e musgos.

3.5. DETERIORAÇÕES DA PEDRA DO PORTAL DA TORRE: ASPECTO MACROSCÓPICO, LOCALIZAÇÃO E CARTOGRAFIA

A figura 30 apresenta a cartografia das deteriorações do portal da Torre e as figuras 31 a 38 mostram alguns aspectos macroscópicos dessas deteriorações. A desagregação granular é frequentemente muito intensa, tornando difícil a observação da ornamentação da pedra do tímpano e da maior parte das pedras das arquivoltas situadas entre 2,7

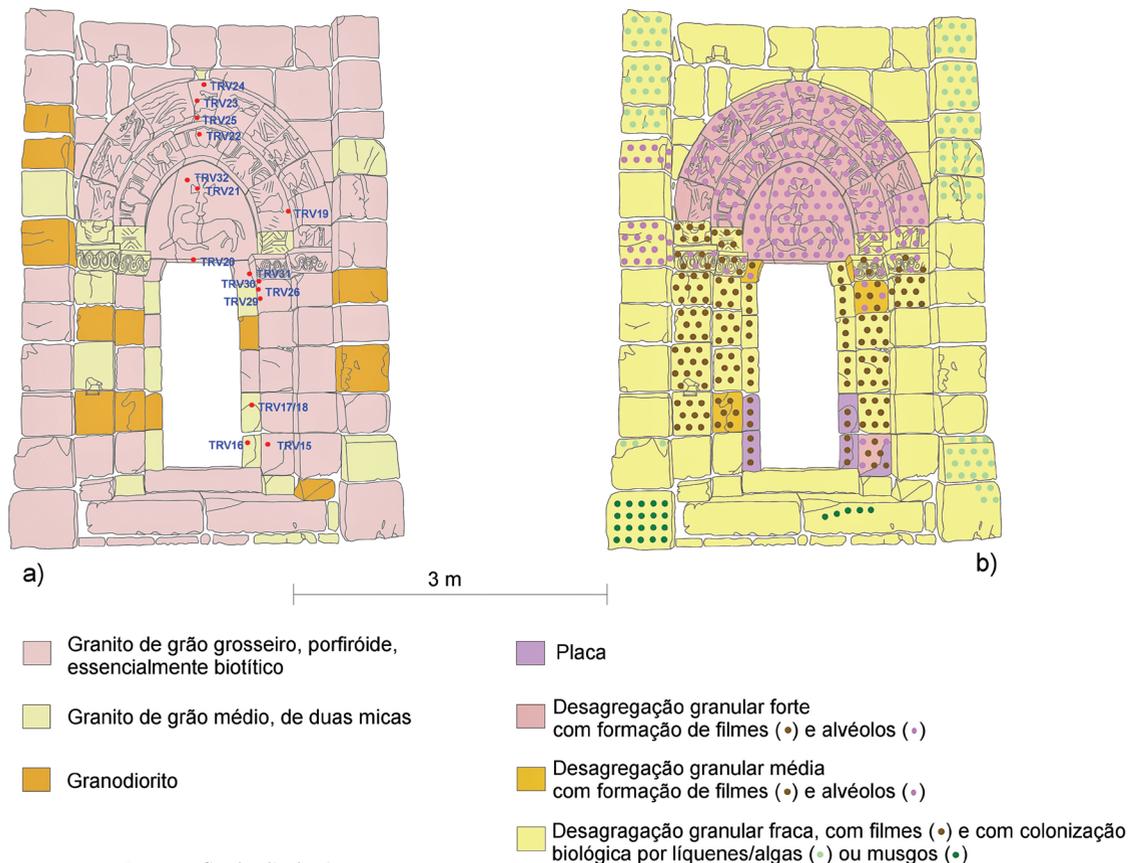


FIGURA 30. Cartografia das litologias e pontos de amostragem no portal da Torre (a) e respetivas deteriorações (b) (adaptado de Begonha e Novais, 2011, pp. 5, 26).



FIGURAS 31 A 38. Aspecto macroscópico das deteriorações da pedra do portal da Torre: a), b) e c) desagregação granular intensa; d), e) e f) alvéolos; g) placas; h) fissura (Begonha e Novais, 2011, p. 17).

e 4,4 metros de altura. Está associada, quase sempre, a alveolização intensa. As pedras afetadas por placas são em número mais reduzido e situam-se a cotas mais baixas, entre 0,6 e 1,5 metros de altura.

Nas ombreiras e no início das arquivoltas do portal verifica-se a existência de um filme castanho, que reveste as pedras e que se localiza entre as cotas de 0,6 e 3,1 metros.

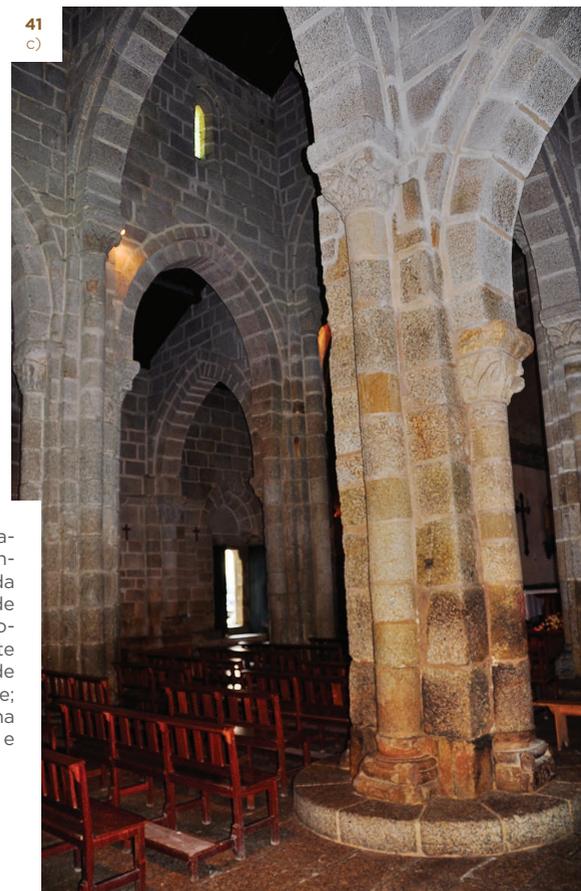
A colonização biológica é menos intensa que nos dois portais da Igreja cartografados, sendo os líquenes, os musgos e as algas os organismos mais frequentes.

No portal da Torre são evidentes numerosas fissuras, uma das quais de grande comprimento (a do tímpano que exhibe o *Agnus Dei*).

3.6. DETERIORAÇÕES DA PEDRA DO INTERIOR DA IGREJA: ASPECTO MACROSCÓPICO E LOCALIZAÇÃO

O estado de conservação da pedra do interior da Igreja é, em geral, bom. Apenas algumas pedras exibem desagregação granular, de intensidade média ou forte, nomeadamente alguns capitéis das colunas. Nas bases de algumas colunas observam-se placas, que acompanham os rebordos curvos das superfícies das pedras.

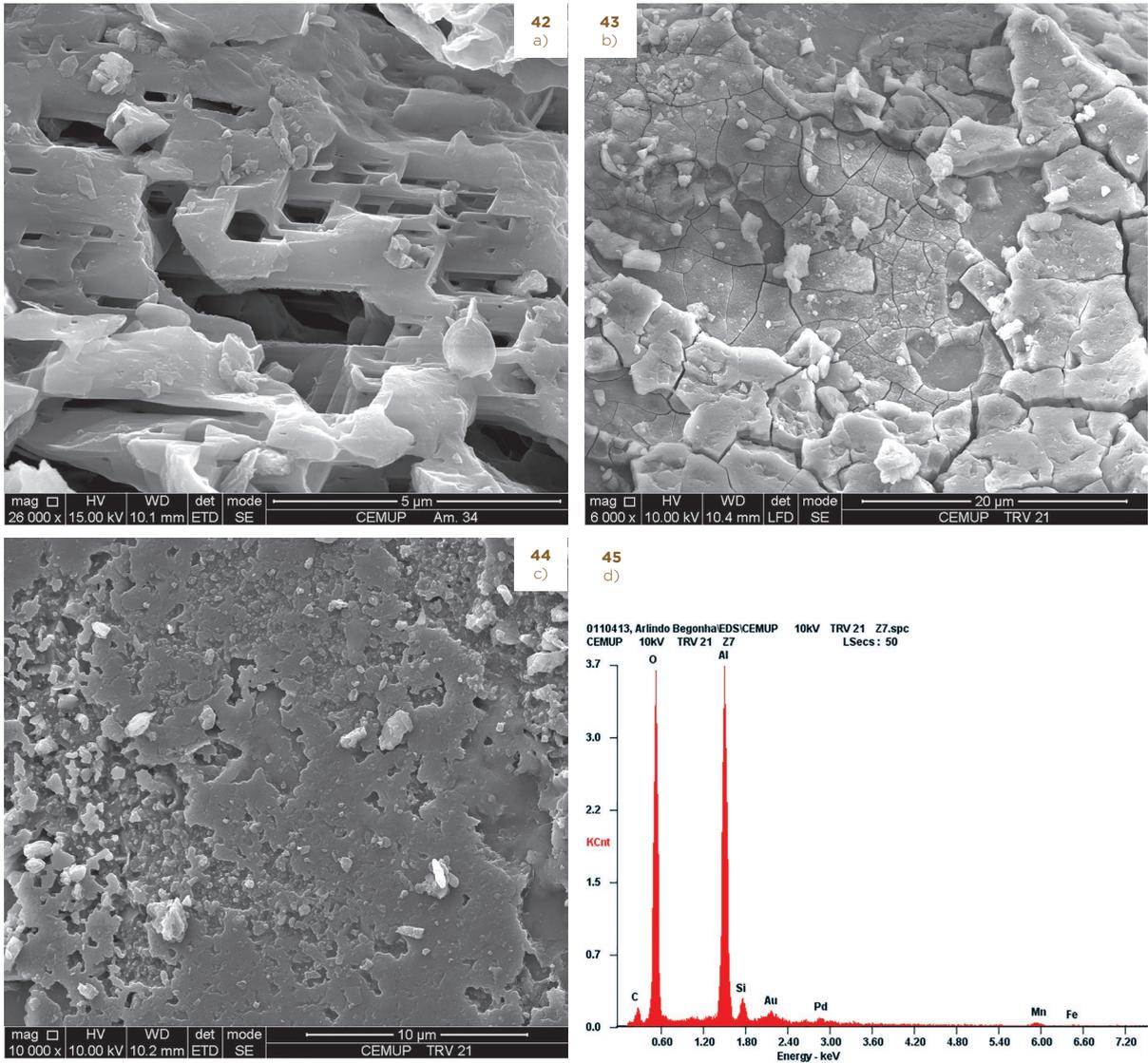
Nas paredes norte e sul, bem como no pavimento e nas colunas, observam-se grandes manchas de humidade. Estas resultam quer da pequena profundidade a que se encontra o nível freático, quer de infiltrações, devidas ao mau estado de conservação das coberturas. Nas paredes e nas colunas, a ascensão capilar atinge, por vezes, mais de 3,0 metros de altura.

39
a)40
b)41
c)

FIGURAS 39 A 41. Desagregação granular de intensidade forte e manchas de humidade no interior da Igreja: a) desagregação granular de intensidade forte no capitel da coluna mais próxima do portal norte da Igreja; b) manchas de humidade no pavimento junto à parede norte; c) humidade ascensional na coluna do lado da parede sul (Begonha e Novais, 2011, pp. 19-20).

3.7. ESTUDO MINERALÓGICO DOS GRANITOS DE GRÃO GROSSEIRO E DE GRÃO MÉDIO POR MEV

Os estudos realizados por MEV em três amostras de granito de grão médio e em seis amostras de granito de grão grosseiro permitiram observar alguns aspectos ligados à meteorização do feldspato potássico e da plagioclase, bem como identificar a caulinite em quatro amostras e a gibbsite numa.



FIGURAS 42 A 45. Aspectos ligados à meteorização do granito (imagens e espectro obtidos por MEV): a) feldspato potássico meteorizado (TRV 34); b) caulinite sobre quartzo (TRV 21); c) gibbsite (TRV 21); d) gibbsite - espectro (TRV 21) (Begonha e Novais, 2011, pp. 35-36).

3.8. ESTUDO MINERALÓGICO DAS DETERIORAÇÕES DA PEDRA POR MEV

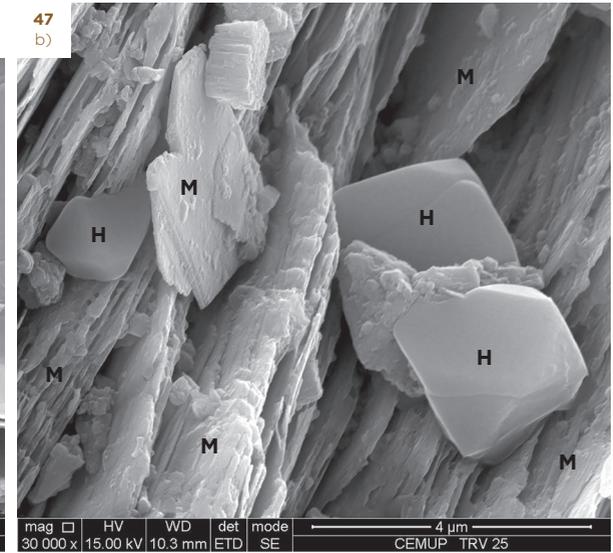
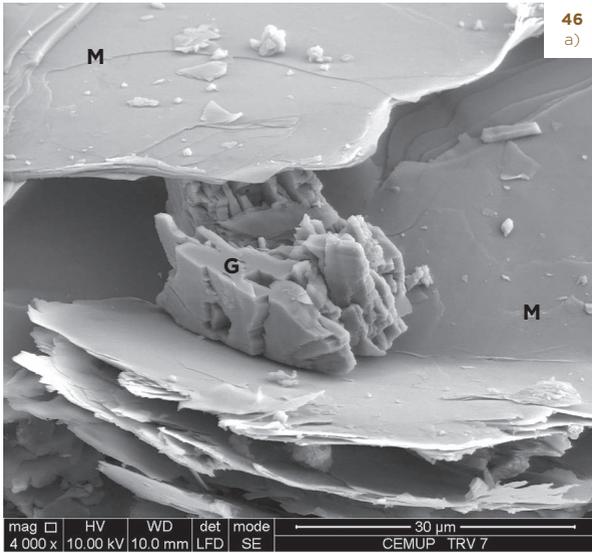
Os resultados por MEV permitiram identificar diversos minerais de sais solúveis, nomeadamente: sulfatos – gesso ($\text{CaSO}_4\text{-}2\text{H}_2\text{O}$), cloretos – halite (NaCl), nitratos – nitratite (NaNO_3) e carbonatos – calcite (CaCO_3). Permaneceram dúvidas sobre a eventual presença de um oxalato de cálcio, numa amostra, e de nitrato de amónia, noutras duas. A tabela 1 apresenta os minerais de sais solúveis identificados por MEV.

A cristalização dos minerais de sais solúveis na rede porosa dos granitos utilizados na Igreja do Mosteiro de Travanca está na origem da maior parte das deteriorações da pedra. A ação destes minerais é tanto mais destrutiva, quanto maior a sua solubilidade e higroscopicidade, quanto maiores as forças de cristalização que desenvolvem no seu processo de crescimento, bem como quanto maior o número de ocorrências de ciclos de cristalização/dissolução ou cristalização/deliqüescência (Hammecker, 1993, pp. 179, 195-196, 226-229; Begonha, 2001, pp. 170-176, 411). Nas figuras 46 e 47 apresentam-se imagens, por MEV, da cristalização do gesso e da halite no interior do meio poroso do granito.

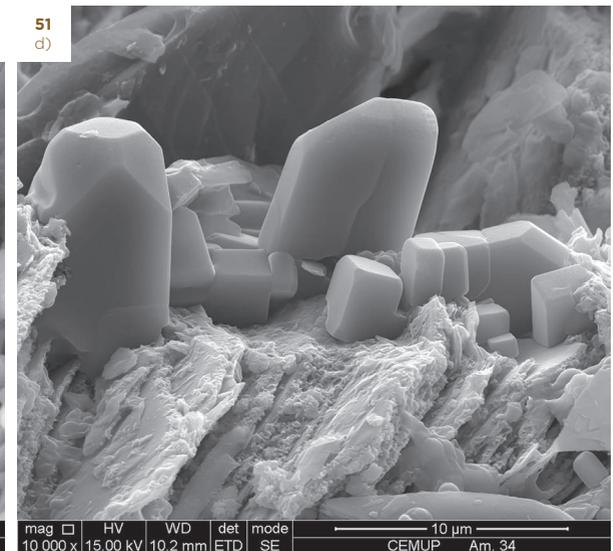
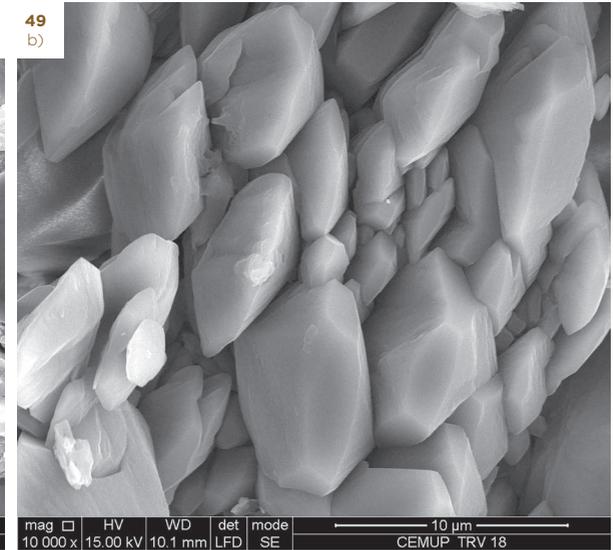
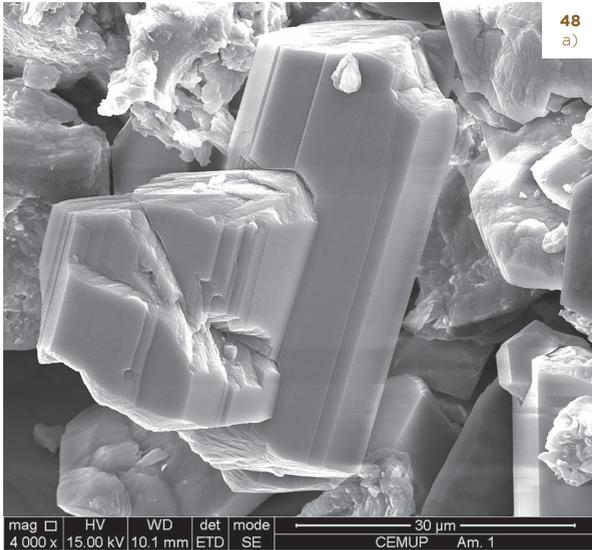
Os minerais de sais solúveis aparecem com diferentes hábitos cristalinos. As figuras 48 a 53 exibem imagens de cristais de gesso, halite e calcite.

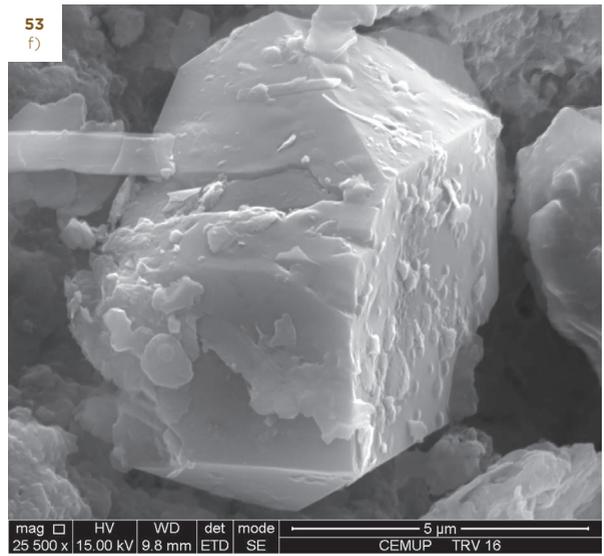
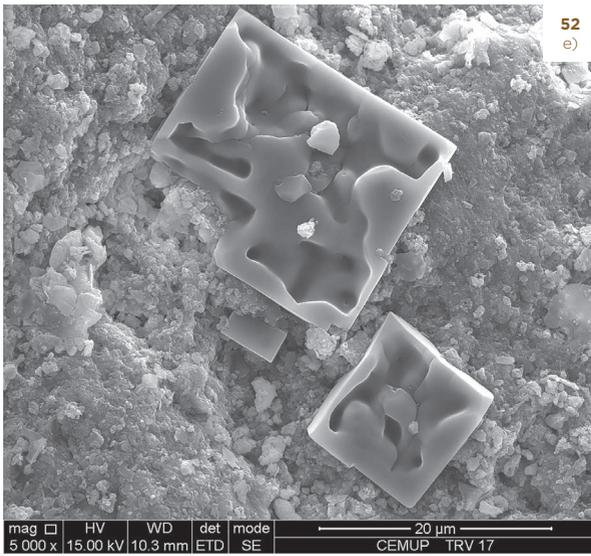
Deterioração	Localização	Minerais de sais solúveis
Desagregação granular	Portal oeste	Gesso + Calcite + Halite
		Gesso
		Gesso + Calcite + Nitrato de amónia (?)
	Portal norte	Gesso + Halite
		Calcite e/ou Oxalato de cálcio (?) + Gesso (raro)
	Portal da Torre	Gesso
		Gesso + Halite + Nitratite
Fachada este	Calcite (?)	
Interior da Igreja	Halite	
Alvéolos	Portal da Torre	Gesso
		Nitratite
Placas	Portal oeste	Calcite + Gesso (raro)
		Gesso + Nitrato de amónia (?)
	Portal da Torre	Gesso + Halite
		Gesso + Halite + Nitratite + Calcite
Portal da Torre	Portal da Torre	Gesso + Halite + Nitratite
		Gesso + Halite
Portal da Torre	Portal da Torre	Halite + Nitratite + Calcite + Gesso
Barramento	Portal oeste	Calcite

TABELA 1. Minerais de sais solúveis identificados por MEV.

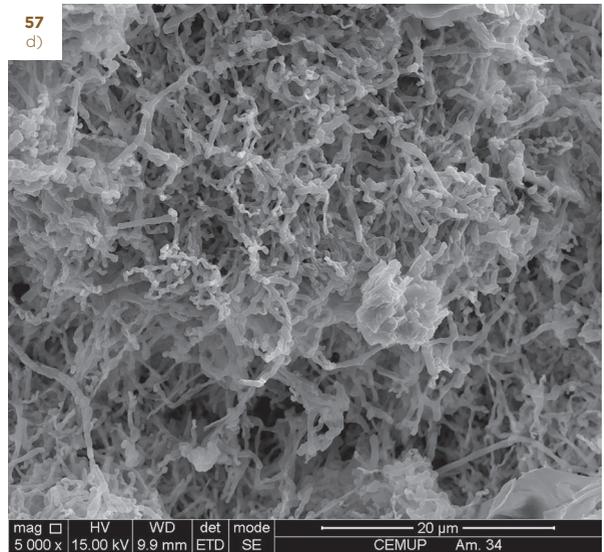
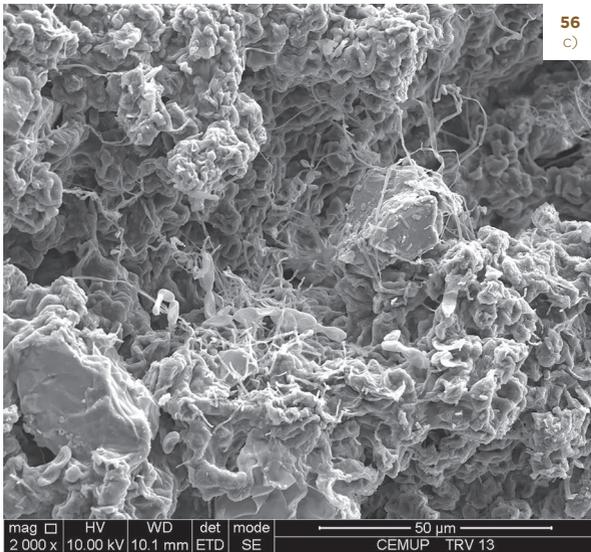
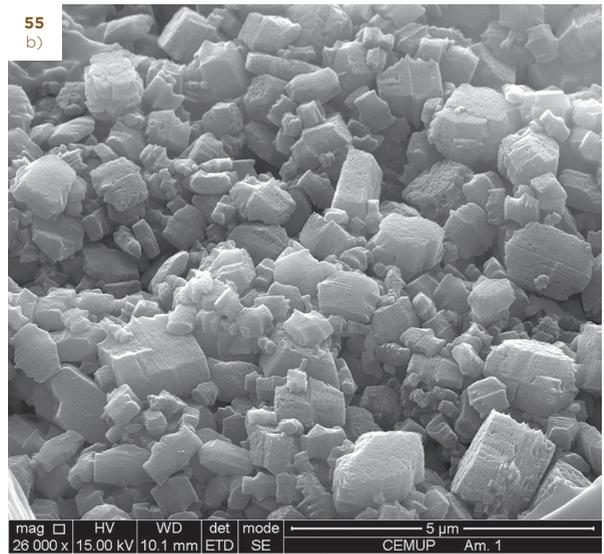
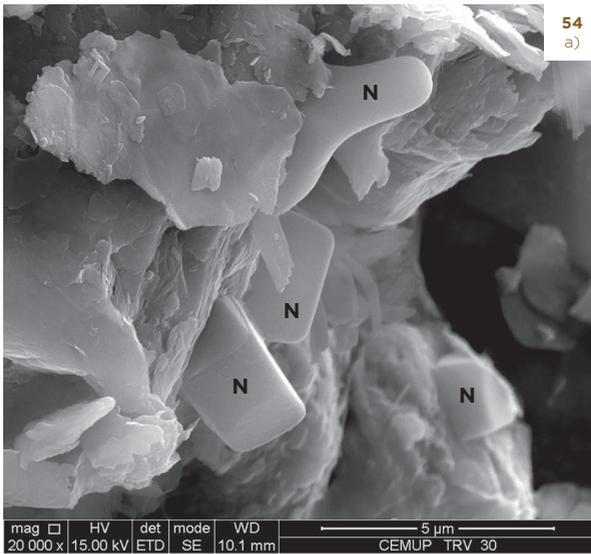


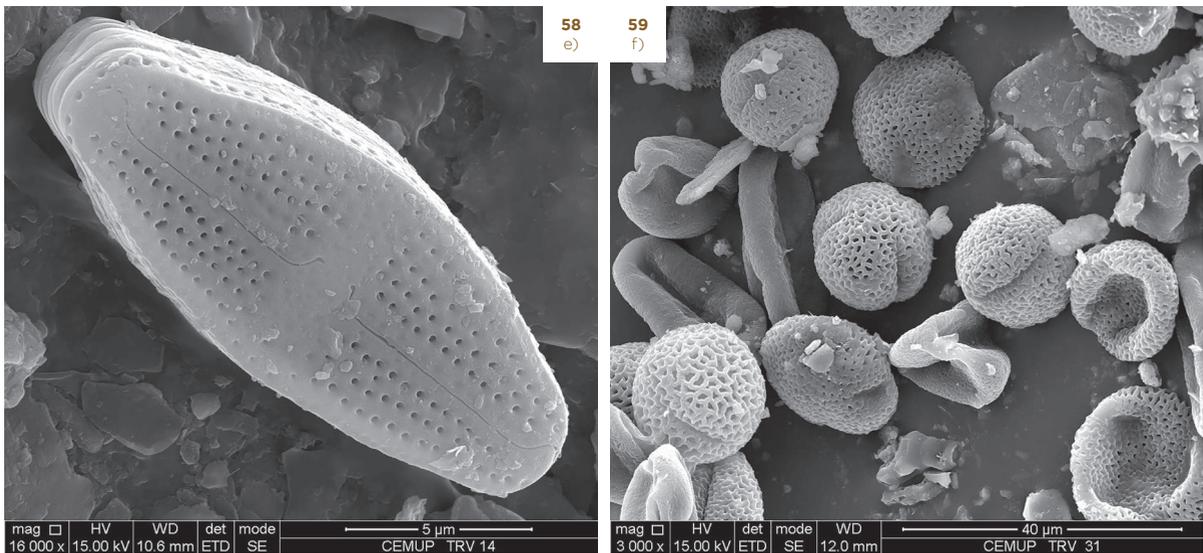
FIGURAS 46 E 47. Cristalização de gesso e de halite no meio poroso do granito (imagens obtidas por MEV): a) gesso (G) entre folhetos de moscovite (M) (TRV 07); b) halite (H) entre folhetos de moscovite (M) (TRV 25) (Begonha e Novais, 2011, p. 38).





FIGURAS 48 A 53. Gesso, halite e calcite (imagens obtidas por MEV): a) gesso - cristais tabulares subédricos sobre plagioclase (TRV 01); b) gesso - cristais tabulares em forma de ponta de lança (TRV 18); c) gesso - cristais tabulares (TRV 07); d) halite - cristais cúbicos e prismáticos com as formas simples cubo + octaedro sobre biotite (TRV 34); e) halite - cristais subédricos com figuras de dissolução (TRV 17); f) calcite - cristal euédrico (TRV 16) (Begonha e Novais, 2011, pp. 40, 55, 60, 65, 69, 74).





FIGURAS 54 A 59. Nitratite, provável nitrato de amônia e material biológico (imagens obtidas por MEV): a) nitratite (N) sobre moscovite (TRV 30); b) nitrato de amônia (?) - cristais tabulares e isométricos (TRV 01); c) líquenes (TRV 13); d) fungos (TRV 34); e) diatomácea (TRV 14); f) pólen (TRV 31) (Begonha e Novais, 2011, pp. 46-47, 57, 61).

As figuras 54 a 59 mostram imagens de nitratite, provável nitrato de amônia e material biológico (líquenes, fungos, algas, diatomáceas e pólenes).

3.9. POROMETRIA DE ALGUMAS ROCHAS EMPREGUES NO MOSTEIRO DE TRAVANCA

As características do meio poroso das rochas são a principal condicionante da velocidade, da quantidade e da distância percorrida pelas soluções salinas, por transferência capilar, no interior das pedras dos monumentos, definindo, assim, os locais de evaporação das soluções e, conseqüentemente, de cristalização dos sais solúveis nelas presentes, principal causa das diversas deteriorações da pedra exibidas nos monumentos e edifícios.

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos com o porosímetro de mercúrio, nomeadamente a porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}), a microporosidade (N_{μ}), a percentagem de microporosidade relativamente à porosidade total ao mercúrio (N_{μ}/N_{Hg}) e os diâmetros de acesso das principais famílias de fissuras (d_a) na amostra TRV 34 (pedra de granito de grão grosseiro afetada por desagregação granular de intensidade forte). Exibe ainda os resultados obtidos na amostra TRV 27 (pedra de granito de grão fino afetada por desagregação granular de intensidade forte) e na amostra TRV 08 (placa de granito de grão médio afetada por desagregação granular de intensidade forte). Para cada amostra, o primeiro valor de d_a corresponde à principal família de fissuras. A figura 60 exhibe a distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra TRV 24 (pedra de granito de grão grosseiro afetada por desagregação granular de intensidade forte, com alvéolos).

Com o evoluir do processo de deterioração do granito de grão grosseiro, a N_{Hg} aumenta de 5,19%, na pedra afetada por desagregação granular de intensidade média,

	Amostra	N _{Hg} %	N _μ %	100×N _μ /N _{Hg} %	d _s μm	Tipo de rede porosa
Granito de grão grosseiro	Pedra afetada por desagregação granular de intensidade média, com alvéolos	TRV 26	5,19	2,56	49	60,35 7,88
	Pedra afetada por desagregação granular de intensidade forte	TRV 34	7,21	3,47	48	10,66 3,17-3,85
	Pedra afetada por desagregação granular de intensidade forte, com alvéolos	TRV 24	16,77	5,96	36	2,37 8,24
Granito de grão fino	Pedra afetada por desagregação granular de intensidade forte	TRV 27	12,37	4,32	35	2,34 60,36
Granito de grão médio	Placa afetada por desagregação granular de intensidade forte	TRV 08	22,01	8,99	41	2,09 8,63-16,48

TABELA 2. Resultados obtidos com o porosímetro de mercúrio.

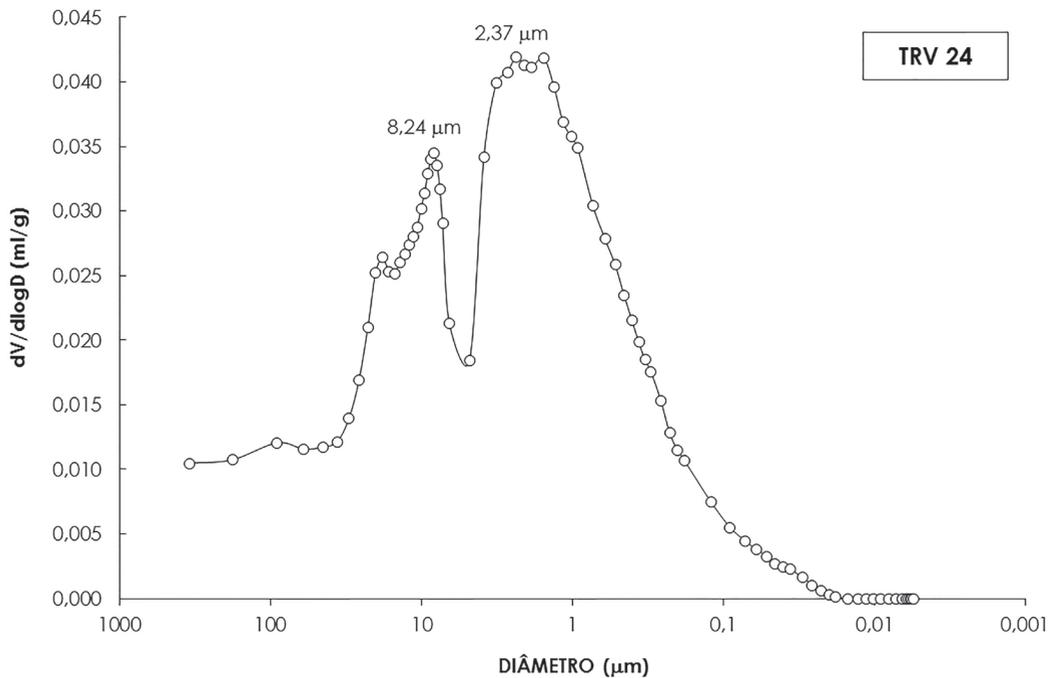


FIGURA 60. Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra TRV 24 (Begonha e Novais, 2011, p. 29).

com alvéolos (TRV 26), para 7,21%, na pedra com desagregação granular de intensidade forte (TRV 34), e para 16,77%, na pedra com desagregação granular de intensidade forte, com alvéolos (TRV 24). O valor de N_{Hg} (12,37%) é muito alto na pedra de granito de grão fino com desagregação granular de intensidade forte (TRV 27) e, sobretudo, na placa afetada por desagregação granular de intensidade forte (TRV 08), em que N_{Hg} é igual a 22,01%. Com o aumento do grau de deterioração, verifica-se uma diminuição da razão N_{μ}/N_{Hg} no granito de grão grosseiro empregue no Mosteiro de Travanca, resultado da diminuição percentual de fissuras de menor abertura. As amostras exibem duas famílias de fissuras (redes porosas bimodais).

4. DISCUSSÃO

As pedras de três tipos de granito utilizados na Igreja do Mosteiro de Travanca têm, em muitos casos, elevados graus de meteorização. O grau de meteorização difere de pedra para pedra, pelo que as mesmas apresentam diferentes graus de suscetibilidade às deteriorações. Com efeito, a caulinite e a gibsita, os dois produtos finais do processo de meteorização dos granitos na região Noroeste de Portugal continental (Braga, 1988, pp. 209-210; Braga, *et al.*, 1989, p. 1959; Begonha, 2001, p. 405; Begonha e Braga, 2002, pp. 64, 74; Braga, Paquet e Begonha, 2002, pp. 47-49, 52), foram identificadas por MEV nos granitos de grão grosseiro e de grão médio.

O processo de meteorização e, posteriormente, de deterioração da pedra, após a construção do monumento, conduziram, nos três granitos, à formação de redes porosas bimodais. Os resultados da N_{Hg} revelaram valores relativamente elevados nas amostras menos deterioradas (5,19% a 7,21%) e valores muito elevados na amostra TRV 27 (pedra de granito de grão fino afetada por desagregação granular de intensidade forte (12,37%), na amostra TRV 24 (pedra de granito de grão grosseiro afetada por desagregação granular de intensidade forte, com alvéolos (16,77%) e na amostra TRV 08 (placa de granito de grão médio afetada por desagregação granular de intensidade forte (22,01%).

Begonha e Novais (2011, pp. 31-34) compararam os valores obtidos em Travanca com os de outros monumentos graníticos do Norte de Portugal. Assim, referem que os valores máximos de N_{Hg} obtidos naquele Mosteiro são superiores aos encontrados noutros monumentos graníticos. Os valores da razão N_{μ}/N_{Hg} obtidos nos três tipos de granito estudados são baixos (35% – 49%) e enquadram-se nos valores mais baixos encontrados em pedras graníticas meteorizadas e deterioradas em monumentos da região Norte de Portugal. Para além disso, os mesmos autores constataram que, à exceção da família principal de fissuras da amostra TRV 26 (60,35 \times m) e da família secundária de fissuras da amostra TRV 27 (60,36 μ m), os restantes valores das aberturas de acesso enquadram-se nos de outros granitos empregues nos monumentos da referida região.

Estes resultados e características das redes porosas dos três granitos aplicados no monumento, associados ao facto das redes porosas dos granitos serem muito bem interligadas, possibilitam, segundo dados publicados relativamente a diversos monumentos graníticos do Norte de Portugal continental, por Begonha, *et al.* (1994, p. 542), Alves (1997, pp. 160, 167), Begonha (2001, pp. 319-323; 2003, pp. 16-17, 26-27; 2004, p. 44; 2005, p. 20), Ferreira (2004, p. 5.56), Moutinho (2005, pp. 171, 178), Fojo (2006, pp. 62, 85, 108), Leite (2008, pp. 53-54), Bré (2008, pp. 41-42), Resende (2010, pp. 83, 96) e Silva

(2012, pp. 147-148), a transferência, por capilaridade rápida e eficaz, de soluções salinas a partir da chuva ou do solo, traduzindo-se em elevados valores da progressão da franja capilar por unidade de raiz quadrada do tempo, e possibilitando fortes fluxos de evaporação.

Como consequência do tipo de meio poroso dos granitos empregues e da pequena profundidade do nível freático, a ascensão capilar atinge, por vezes, mais de 3,0 metros de altura nas paredes e nas colunas do interior da Igreja e em alguns pontos das fachadas exteriores, como por exemplo no portal da Torre, local mais deteriorado do monumento.

A existência de sais solúveis nas águas freáticas e da chuva, ligada ao tipo de redes porosas dos três granitos, conduziu a fenómenos de deterioração da pedra, que se manifestam pela presença de diversos tipos de deteriorações, como a desagregação granular, os alvéolos e as placas.

As águas da chuva e do solo contêm sais solúveis, formando soluções salinas que se transferem ou ascendem por capilaridade, cristalizando nas zonas de evaporação. Conforme o que sucede na maior parte dos edifícios e monumentos graníticos do Norte de Portugal, o fenómeno da ascensão por capilaridade origina danos importantes na pedra das zonas inferiores das fachadas.

De facto, a ascensão por capilaridade, a partir do solo, é o mecanismo mais importante, tendo como resultado quer a forte desagregação granular, com grande perda de material e recuo da superfície das pedras de granito, e a formação de alvéolos em muitas das pedras afetadas por desagregação granular, quer a formação de placas em áreas abaixo das de onde incidem as duas deteriorações anteriores.

Verifica-se, portanto, um zonamento das deteriorações nas áreas sujeitas à ascensão por capilaridade de soluções salinas, a partir do solo, com formação de placas a cotas mais baixas, e de desagregação granular de maior intensidade, com ou sem alvéolos, a cotas superiores, significando, em princípio, uma maior predominância do gesso nas áreas mais próximas do solo.

Por oposição, não se observou o zonamento em altura dos minerais de sais solúveis nas áreas afetadas pela ascensão de soluções salinas, a partir do solo, no exterior da Igreja, não se confirmando a teoria preconizada por Arnold (1984, p. 129) e Arnold e Zehnder (1987, p. 111) da cristalização de minerais de sais menos solúveis (sulfatos e carbonatos), a cotas inferiores, e da cristalização de minerais mais solúveis, a cotas superiores (cloretos e nitratos).

A inexistência de elevados níveis de poluição antropogénica do ar teve como consequência a ausência de crostas negras e de filmes negros, deteriorações diretamente associadas a elevados níveis de poluição do ar, verificando-se, pelo contrário, a presença generalizada de líquenes, organismos muito sensíveis e intolerantes à poluição atmosférica.

Para além disso, não se observou por MEV qualquer cinza volante porosa, carbonosa e rica em enxofre, mas apenas um número diminuto de cinzas volantes de superfície lisa, ricas em silício e alumínio. Qualquer um destes tipos de partículas está associado à queima de combustíveis fósseis.

A desagregação granular é o tipo de deterioração mais importante na Igreja do Mosteiro de Travanca. A maior parte dos danos da pedra tem, assim, origem na cristalização de minerais de sais solúveis no interior da rede porosa dos granitos. A penetração, transferência capilar e evaporação das soluções salinas provenientes do solo e das águas da chuva, bem como as variações do teor de humidade do ar, conduzem a ciclos alternados de cristalização e dissolução/deliquescência total ou parcial dos minerais de maior solubilidade e/ou higroscopicidade. Em cada ciclo, durante a fase de cristalização dos minerais de sais solúveis no interior da rede porosa do granito, desenvolvem-se forças de cristalização que acabam por provocar o desengaste dos grãos ou a formação de planos de debilidade e descontinuidade, que originam, respetivamente, a desagregação granular e a formação de placas. Os minerais de sais solúveis não reagem, portanto, quimicamente com os minerais constituintes do granito. A sua ação é mecânica. Os ciclos alternados de cristalização e dissolução/deliquescência dos minerais de sais solúveis devem, também, ser a causa das figuras de dissolução exibidas por grande parte dos cristais de minerais de sais solúveis, incluindo minerais com menor solubilidade, como a calcite e o gesso.

Os minerais de sais solúveis identificados nas amostras de desagregação granular foram o gesso, a halite, a nitratite, a calcite e, eventualmente, o nitrato de amónia e o oxalato de cálcio. Nas placas identificaram-se o gesso, a halite, a nitratite e a calcite. Sobre os filmes acastanhados identificaram-se a halite, a nitratite, a calcite e o gesso.

Os minerais que desempenham um papel primordial na génese da desagregação granular são o gesso, a halite e a nitratite. Estes dois últimos, pela sua solubilidade, forças de cristalização e deliquescência, são suficientes, mesmo que em quantidades reduzidas, para desenvolverem ações mecânicas que desengastam e fissuram os grãos dos minerais constituintes do granito.

O gesso, menos solúvel e com forças de cristalização inferiores às dos dois minerais anteriores, tem ação importante, pela sua quantidade e pelo aumento da sua solubilidade quando está presente o cloreto de sódio (halite).

Nas placas, as grandes concentrações de gesso em planos paralelos à superfície das pedras conduzem à formação das mesmas. A presença de halite e nitratite está, sobretudo, associada a alguma desagregação granular, que se desenvolve quando a placa começa a destacar-se e a afastar-se significativamente da pedra.

A calcite é um dos minerais de sais solúveis menos solúvel, pelo que a sua ação não deverá ser decisiva na génese da desagregação granular, dos alvéolos e das placas.

O estudo do material recolhido em diversos alvéolos do portal da Torre, bem como num alvéolo localizado no interior da Igreja, não permitiu atribuir a génese dos mesmos a um ou a mais do que um determinado mineral de sal solúvel, nem a uma maior concentração do mesmo ou mesmos relativamente às amostras de desagregação granular obtidas nas mesmas pedras. Na verdade, o gesso foi identificado em três dos quatro alvéolos estudados, enquanto a nitratite foi identificada no outro. A calcite apareceu num dos alvéolos onde também se identificou o gesso.

A origem dos minerais de sais solúveis pode ser atribuída à água da chuva, ao barramento que existiu sobre a superfície das pedras, às águas freáticas, aos enterramentos e aos líquenes.

A origem da halite pode ser atribuída às águas da chuva. Begonha (2001, pp. 392-396) estudou a composição das águas da chuva obtidas nas coberturas do Hospital de Santo António, no Porto, e no edifício do Largo do Paço, em Braga. Nos dois locais, as águas da chuva são identicamente ricas nos iões cloreto e sódio, que aparecem na proporção de 1:1, igual à da halite. Efetivamente, depois de procederem à evaporação das amostras das águas da chuva dos dois locais, os autores observaram por MEV o material sólido depositado e identificaram a halite. Atribuíram a origem dos iões cloreto e sódio à influência do oceano Atlântico.

No que respeita aos iões sulfato e cálcio, os mesmos autores registaram resultados distintos para as águas da chuva dos dois locais. Nas obtidas no Porto, a proporção dos dois iões é próxima de 1:1, tendo identificado o gesso no material sólido obtido após a evaporação das amostras. As concentrações do ião sulfato nas águas de Braga eram semelhantes às do Porto, mas as do ião cálcio eram bastante inferiores. A proporção cálcio:sulfato era, pois, bem menor do que 1:1, pelo que não havia cristalização significativa do gesso nas águas da chuva de Braga. Estes resultados permitiram explicar por que no Porto (com índices de poluição do ar bem superiores aos de Braga) há formação generalizada de crostas negras (essencialmente constituídas por cristais de gesso e cinzas volantes), enquanto em Braga a sua quantidade é muito inferior.

Uma vez que, em Travanca, os índices de poluição do ar são pouco significativos, as águas da chuva podem ser a origem do ião sulfato, mas não a principal origem do ião cálcio, necessários para formar o gesso presente na maior parte das amostras de deteriorações.

Parte significativa do cálcio pode ser atribuída ao barramento, do qual se encontram vestígios no portal oeste e que, provavelmente, poderá ter sido aplicado em vários pontos do monumento. O estudo por MEV da amostra de barramento TRV 36 mostrou que o mesmo é constituído por cálcio e oxigénio (atualmente, calcite, após a carbonatação da cal original do barramento). Assim, o ião sulfato presente nas águas da chuva pode ter substituído o ião carbonato do barramento, transformando a calcite em gesso.

A cal utilizada nos enterramentos que se realizaram durante séculos, em Portugal, no interior das igrejas e áreas circundantes pode ser a origem de parte do cálcio necessário para formar o gesso, mas unicamente nas áreas mais próximas do solo, nas fachadas, dado que o carbonato de cálcio tende a concentrar-se a baixa altura nas zonas submetidas a ascensão capilar.

O ião nitrato da nitratite – nitrato de sódio – deve ter como fonte as águas freáticas (uma vez que o monumento se encontra numa zona de intensa exploração agrícola, com uso abundante de fertilizantes e material orgânico ricos em nitratos) e, igualmente, mas em menor percentagem, as da chuva. O ião sódio pode ter origem nas águas da chuva e nas freáticas.

A calcite – carbonato de cálcio – pode ter como origem a cal utilizada nos enterramentos (zonas mais próximas do solo), o barramento (zonas mais elevadas) ou a água da chuva com quantidades significativas de ião hidrogenocarbonato.

O nitrato de amónia pode ter como origem a ação dos líquenes, capazes de fixar o azoto a partir do ar, e o ião nitrato presente nas águas freáticas e igualmente, mas em menor percentagem, nas da chuva.

O oxalato de cálcio deve ter como origem a ação dos líquenes, capazes de produzir estes minerais de sais solúveis por transformação do ião carbonato do barramento ou do ião hidrogenocarbonato das águas da chuva em ião oxalato, e a fixação do ião cálcio a partir do barramento e, eventualmente e em pequena parte, a partir da água da chuva.

A colonização liquénica é o segundo tipo mais importante de deterioração da pedra da Igreja do Mosteiro de Travanca, verificando-se o desenvolvimento de diversos tipos.

No interior da Igreja, as manchas de humidade presentes no pavimento e nas paredes são o resultado da ascensão capilar, devido à pequena profundidade do nível freático e à água da chuva acumulada no pavimento, proveniente de infiltrações, a partir das coberturas, dado o mau estado de conservação das mesmas.

5. CONCLUSÕES

As deteriorações da pedra da Igreja do Mosteiro de Travanca resultam, principalmente, da cristalização de minerais de sais solúveis na rede porosa dos granitos. Os processos de meteorização e de deterioração dos granitos conduziram à formação de redes muito porosas, bimodais e muito bem interligadas, que possibilitam a transferência rápida e eficaz de soluções salinas por capilaridade, a partir das águas freáticas, superficiais e da chuva.

As zonas mais deterioradas por desagregação granular situam-se nos capitéis, no tímpano e nos arcos do portal da Torre e nos capitéis do portal oeste. Os minerais que desempenham um papel primordial na génese da desagregação granular são o gesso, a halite e a nitratite.

As zonas inferiores do portal da Torre e do portal oeste encontram-se igualmente muito deterioradas, devido à presença de placas, sendo o gesso o mineral de sal solúvel responsável pelo aparecimento das mesmas.

A origem dos minerais de sais solúveis pode ser atribuída à água da chuva, ao barramento que existiu sobre a superfície das pedras, às águas freáticas, aos enterramentos e aos líquenes.

6. PROPOSTA DE TRATAMENTO DA PEDRA

Os resultados obtidos permitiram a Begonha e Novais (2011, pp. 87-95) propor uma metodologia de limpeza e tratamento da pedra, que contemplava as seguintes fases: limpeza da pedra; limpeza e preenchimento das juntas; remoção dos filmes acastanhados; eliminação da colonização biológica; colagem de pedras fraturadas, fendas, fissuras ou placas; consolidação das áreas mais intensamente afetadas por desagregação granular; hidrofugação das superfícies tratadas; e colocação de chapas de zinco.

Em comum a todas as etapas encontra-se a legislação, que obriga à implementação de sistemas que protejam a envolvente de poeiras, água e produtos a aplicar durante a intervenção. Acresce o uso de produtos líquidos de tratamento, como biocidas, agentes consolidantes e hidrófugos com períodos de cura mais ou menos longos e durante os

quais as pedras tratadas devem permanecer secas, obrigando à proteção de parte ou da totalidade do edifício.

Nas zonas mais baixas do monumento, sujeitas à ascensão de soluções salinas a partir do solo, a metodologia proposta só conduzirá a uma diminuição ou eliminação do processo de decaimento da pedra se forem implementadas medidas que permitam uma drenagem eficaz das águas superficiais e que evitem a ascensão capilar das águas freáticas.

Na intervenção a realizar, e antes da parte relativa à limpeza e tratamento da pedra, dever-se-á fazer o estudo estrutural do monumento e, em particular, da Torre, uma vez que há um número significativo de fendas e fissuras e parece haver alguma inclinação e deformação, para sul da mesma, em direção ao corpo principal da Igreja.

Os trabalhos de intervenção deverão ser efetuados por empresas e técnicos de restauro com experiência, preferencialmente, na limpeza e tratamento de edifícios construídos com rochas graníticas, dadas as características próprias deste tipo de rochas.

6.1. LIMPEZA DA PEDRA

As pedras que exibiam maior quantidade de poeiras foram limpas com escova macia, de modo a retirar a sujidade, sem danificar o substrato pétreo.

6.2. LIMPEZA E PREENCHIMENTO DAS JUNTAS

Deverá proceder-se à remoção das argamassas de cimento Portland, usadas no preenchimento de muitas juntas, dado o seu efeito nefasto. Estas argamassas, bem como as de cal que se encontrem deterioradas, deverão ser retiradas por meios mecânicos, sem danificar as pedras, e, seguidamente, limpas com ar comprimido. Se a remoção de argamassas de cimento, muitas vezes fortemente aderentes à pedra, implicar a perda de quantidades significativas de material pétreo, poder-se-á optar pela sua permanência, mesmo tendo em conta os seus efeitos prejudiciais.

Após a limpeza, as juntas deverão ser preenchidas com uma argamassa à base de cal e com areias siliciosas, de granulometria adequada, por meio de seringas com diâmetro de abertura adequado à espessura das juntas. A aplicação das argamassas em cornijas e noutras zonas horizontais deverá ser extremamente cuidada, de modo a impedir a percolação das águas pluviais através das juntas.

6.3. REMOÇÃO DOS FILMES ACASTANHADOS

Nas áreas revestidas com filmes acastanhados ou com depósitos superficiais de óxidos de ferro pode recorrer-se a métodos abrasivos (micro abrasão ou método misto, com projeção de água e de partículas constituídas por carbonato de cálcio precipitado a baixas pressões) ou a métodos químicos ácidos e, simultaneamente, tensoativos.

A aplicação de qualquer um destes métodos deverá ser precedida por ensaios prévios, para verificação da sua eficácia e adequabilidade.

A concentração de produtos químicos deve ser a menor possível e o período de atuação curto, não ultrapassando, em geral, os três a cinco minutos, de modo a proteger os materiais pétreos e a garantir a segurança dos operadores.

6.4. ELIMINAÇÃO DA COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA POR PLANTAS SUPERIORES

Os agentes herbicidas devem ser aplicados antes dos produtos de tratamento de consolidação ou de hidrofugação. As plantas superiores devem ser tratadas com a aplicação de um herbicida sistémico, para eliminar as espécies presentes, que, só posteriormente, deverão ser removidas. A aplicação do herbicida, tal como a aplicação de biocida para a eliminação de microrganismos, deverá ser realizada antes da limpeza e tratamento das juntas onde se verifica o crescimento deste tipo de plantas.

6.5. ELIMINAÇÃO DA COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA POR SERES VIVOS QUE NÃO PLANTAS SUPERIORES

Os tratamentos com produtos biocidas têm em vista a eliminação de microrganismos bacterianos, líquenes, fungos, algas e musgos. Dever-se-á recorrer a um biocida à base de sais de amónio quaternário.

Após um período não inferior a quatro semanas de atuação, com confirmação de que todos os exemplares estão mortos, dever-se-á remover o material biológico. Sempre que a raspagem dos líquenes evidencie uma componente esverdeada subjacente, dever-se-á efetuar nova aplicação do biocida. As colonizações serão removidas com escovas macias de piaçaba ou de nylon e, eventualmente, com o auxílio de pequenas quantidades de água. A limpeza deverá ser realizada de modo a que o edifício exiba uma *patine* o mais homogénea possível e não se observem contrastes inestéticos nos tons das cores finais, pese embora os diferentes tipos de litologias empregues.

6.6. COLAGEM DE PEDRAS FRATURADAS, FENDAS, FISSURAS OU PLACAS

Conforme anteriormente referido, antes da colagem de pedras fraturadas, fendas, fissuras e placas é indispensável a realização de um estudo estrutural do monumento, não só pelo número significativo de fendas e fissuras na Torre e pela diminuição da capacidade resistente de muitas pedras, devido ao processo de deterioração das mesmas, mas também pela aparente inclinação e deformação da Torre em direção ao corpo principal da Igreja.

A existirem gatos, aconselha-se a sua substituição por elementos em aço inoxidável, uma vez que, normalmente, se encontram oxidados ou em risco de tal suceder.

Aconselha-se a colagem de fendas, fissuras e placas através da injeção de resinas epoxídicas ou com a introdução de peças em aço inoxidável. Poder-se-á, igualmente, aplicar uma resina perto da superfície e injetar uma argamassa de cal por detrás da

mesma, utilizando uma seringa com diâmetro de abertura adequado à espessura da fenda ou fissura. A resina impedirá a saída da argamassa e, posteriormente, será revestida com uma outra argamassa de cal.

6.7. CONSOLIDAÇÃO DAS ÁREAS MAIS AFETADAS POR DESAGREGAÇÃO GRANULAR

Nas pedras mais intensamente afetadas por desagregação granular dever-se-á aplicar um produto destinado a consolidar as zonas onde a coesão da rocha é fraca ou quase nula.

O consolidante a utilizar deverá ser à base de ortossilicato de tetraetilo, disponível em várias marcas no mercado. A presença de quantidades significativas de minerais de sais solúveis, não visíveis macroscopicamente nas pedras afetadas por desagregação granular, em virtude destes minerais cristalizarem no interior da rede porosa do granito, pode diminuir a eficácia destes produtos, pelo que se recomenda a realização de ensaios experimentais do consolidante no local.

O consolidante deve ser aplicado até recusa aparente, de modo a conseguir-se uma maior profundidade de penetração possível, seguindo-se as instruções do fabricante.

6.8. APLICAÇÃO DE UM PRODUTO HIDRÓFUGO

Um hidrófugo tem como objetivo reduzir, ou mesmo impedir, a entrada de água. Ao diminuir a quantidade de água que entra nas pedras, aumenta a durabilidade, uma vez que diminui as probabilidades de ocorrência de gelividade, reduz o número de ciclos de cristalização e dissolução dos minerais de sais solúveis e o desenvolvimento de seres vivos.

Recomenda-se a aplicação de um produto hidrófugo após o período de cura do consolidante, não se aconselhando a aplicação de um produto simultaneamente consolidante e hidrófugo, dado que ensaios realizados anteriormente (Begonha, 2003, pp. 51, 53) mostraram que a profundidade de penetração deste tipo de produtos é insuficiente.

O produto hidrófugo a utilizar deverá ser à base de um polisiloxano, de modo a tornar as superfícies hidrorrepelentes. O período de eficácia de um hidrófugo não é, em geral, muito longo, pelo que se torna indispensável a sua reaplicação com certa periodicidade.

Dever-se-á ter em especial atenção a aplicação do produto hidrófugo nas cornijas, de modo a evitar a entrada e passagem de água, por capilaridade, através das pedras.

Ensaios de absorção de água por capilaridade, realizados por Fojo (2006, pp. 107-147) em provetes de um granito recolhido na Igreja Matriz de Caminha, antes e depois da aplicação de dois hidrófugos à base de um polisiloxano, mostraram que a sua eficácia é excelente em termos de hidrorrepelência, mesmo depois de realizados os ensaios de envelhecimento acelerado, não introduzindo qualquer alteração cromática significativa nos granitos.

6.9. COLOCAÇÃO DE CHAPAS DE ZINCO

Quando se pretende a impermeabilização total de uma cornija pode recorrer-se ao seu revestimento com chapas de zinco. Esta técnica deverá ser implementada na cornija localizada acima do portal oeste da igreja. A execução deve ser muito cuidada e deve ter-se especial atenção na ligação entre as chapas e a pedra, de modo a não haver passagem de água na interface. No caso de se ter optado pelo sistema de entregas, os rasgos devem ser o menos intrusivo possível, de modo a que o impacto nas pedras seja mínimo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, C., 1997. *Estudo da deterioração de materiais graníticos aplicados em monumentos da cidade de Braga (Norte de Portugal). Implicações na conservação do património construído*. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho.

Arnold, A., 1984. Determination of mineral salts from monuments. *Studies in conservation*, 29, p. 129.

Arnold, A., e Zehnder, K., 1987. Monitoring wall paintings affected by soluble salts. In: S. Cather, ed. 1987. *The conservation of wall paintings*. London: Courtauld Institute of Art and Getty Conservation Institute. p. 111.

Begonha, A., 2001. *Meteorização do granito e deterioração da pedra em monumentos e edifícios da cidade do Porto*. Porto: FEUP edições.

Begonha, A., 2003. *Estudo da aplicação de consolidantes em pedras da igreja de S. Pedro de Rates*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Begonha, A., 2004. *Convento de São Gonçalo de Amarante: estudo diagnóstico e proposta de tratamento da pedra*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Begonha, A., 2005. *Patologia da pedra na fachada principal da igreja de Nossa Senhora da Lapa: diagnóstico e proposta de tratamento*. Porto: Arlindo Begonha.

Begonha, A., e Braga, M. A. S., 2002. Weathering of the Oporto granite: geotechnical and physical properties. *Catena*, 49, 1-2, pp. 64, 74.

Begonha, A., e Novais, H., 2011. *Estudo das deteriorações da pedra no mosteiro de Travanca: relatório final*. Porto: Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Begonha, A., Jeannette, D., Hammecker, C., e Braga, M. A. S., 1994. Physical characteristics of the Oporto granite related to stone decay in monuments. In: V. Fassina, H.

Ott e F. Zezza, eds. 1994. *La conservazione dei monumenti nel bacino del Mediterraneo: atti del 3° simposio internazionale*. Venezia: [s.n.], p. 542.

Botelho, M. L., e Resende, N., 2014. Mosteiro do salvador de Travanca – Amarante. In: L. Rosas, coord. cient. 2014. *Rota do Românico*. Lousada: Associação de Municípios do Vale do Sousa. Vol. II, pp. 242-247, 270-273.

Braga, M. A. S., 1988. *Arenas e depósitos associados da bacia de drenagem do rio Cávado (Portugal) – Contribuição para o estudo da arenização*. Tese de doutoramento. Universidade do Minho.

Braga, M. A. S., Nunes, J. E. L., Paquet, H., e Millot, G., 1989. Essai sur les arènes de l'Europe atlantique. Zonalité climatique. Place de l'arénisation parmi les grands systèmes mondiaux d'altération météorique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 309, série II, p. 1959.

Braga, M. A. S., Paquet, H., e Begonha, A., 2002. Weathering of granites in a temperate climate (NW Portugal): granitic saprolites and arenization. *Catena*, 49, 1-2, pp. 47-49, 52.

Bré, J. M., 2008. *Capela do Senhor da Pedra: diagnóstico e proposta de tratamento da pedra*. Tese de mestrado. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Castro, J., 1939. A igreja de S. Salvador de Travanca. *Boletim da Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais*, 15, p. 5.

Ferreira, J. F. O., 2004. *Caracterização da acção da água em edifícios de pedra*. Tese de mestrado. Escola de Engenharia da Universidade do Minho.

Fojo, A. C. O. T., 2006. *Estudo da aplicação de consolidantes e hidrófugos em pedras graníticas da igreja matriz de Caminha*. Tese de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Hammecker, C., 1993. *Importance des transferts d'eau dans la dégradation des pierres en œuvre*. Tese de Doutoramento. Université Louis-Pasteur Strasbourg I.

Leite, A. L. F. C., 2008. *Estudo da deterioração da pedra na igreja de Santa Clara em Vila do Conde – Proposta de tratamento*. Tese de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Moutinho, A. M., 2005. *Estudo da deterioração da pedra da igreja de Santa Maria de Leça do mosteiro de Leça do Balio – Contributo para o ensino das geociências*. Tese de mestrado. Universidade do Porto.

Resende, J. A. M., 2010. *Análise dos efeitos de produtos preventivos e correctivos anti-graffiti no granito do Porto*. Tese de mestrado. Escola de Engenharia da Universidade do Minho.

Silva, S., 2012. *Estudo diagnóstico, cartografia e proposta de tratamento das deteriorações do granito do hospital da Santa Casa da Misericórdia de Viana do Castelo*. Tese de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

