

Validação de um sistema de apoio à inspecção e diagnóstico de anomalias de revestimentos em pedra natural (RPN)

Validation of an inspection and diagnosis system for anomalies in natural stone cladding (NSC)

Natália Neto¹, Jorge de Brito²

¹*Eng.ª Civil, Mestre em Engenharia Civil (IST)*

natalia_neto@yahoo.com

²*Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa*

jb@civil.ist.utl.pt

RESUMO: Com base numa proposta de sistema classificativo de anomalias e causas prováveis em revestimentos em pedra natural (RPN), foi desenvolvido um plano de inspecções a edifícios de construção recente com anomalias neste tipo de revestimento, que permitiu validar o sistema proposto. Esta campanha de inspecções gerou dados em 59 edifícios, em cujos revestimentos foram detectados vários tipos de anomalia, perfazendo 388 casos de anomalias. Foi seleccionada uma área específica da cidade de Lisboa (Portugal) para a realização de grande parte das inspecções: o Parque das Nações - uma zona requalificada aquando da realização da exposição mundial Expo'98. Com base nestas inspecções, realizou-se uma análise comparativa de diversos aspectos entre pavimentos e paredes com este tipo de revestimento, assim como entre RPN interiores e exteriores. Os dados resultantes das inspecções efectuadas foram alvo de tratamento estatístico e análise, tendo-se obtido conclusões que poderão contribuir para actuar ao nível da prevenção da degradação destes revestimentos e do seu suporte, com vista à obtenção de um edificado com qualidade mais elevada e menores custos associados.

ABSTRACT: Based on a proposal for a classification system for anomalies and probable causes in natural stone cladding (NSC) an inspection plan was developed for recent buildings with anomalies in this type of cladding allowing the validation of the system. This field work generated data from 59 buildings in whose cladding various types of anomalies were detected with a grand total of 288 anomalous situations. A specific area within Lisbon city (Portugal) was selected to perform most of the inspections: The Nations Park - an urban area that was requalified for the World exposition Expo'98. Based on these inspections, a comparative analysis was performed on various aspects of surfaces cladded with this material namely pavements versus walls and interior versus exterior applications. Resulting data were the object of a statistical analysis and post-treatment leading to conclusions that may contribute for actions at the level of degradation prevention of this type of cladding and its substrate, aiming at a higher quality and less costly built environment.

1 INTRODUÇÃO

Actualmente, a utilização da pedra natural em revestimentos de paredes e pisos sobrepõe-se geralmente à sua utilização como elemento resistente na construção. A evolução tecnológica e científica tem vindo a marcar presença neste tipo de revestimentos, havendo um incremento do uso da pedra e verificando-se o aparecimento no

mercado de produtos inovadores neste campo, ampliando a oferta, facilitando a fabricação de elementos com outras dimensões (por exemplo com espessuras reduzidas) e propondo novos métodos para a colocação e fixação de placas pétreas como material de revestimento.

A obtenção de bons resultados em RPN necessita de obras fundadas em factores científicos, físicos e económicos, iniciando-se o

processo com uma prescrição adequada e exigente, baseada em factores tão diversos como as propriedades e qualidade dos materiais, o local de aplicação e as condições a que o material pétreo é sujeito ao longo da sua vida útil. Diversos autores têm manuais publicados sobre as boas práticas, entre os quais Winkler [1], Lewis [2], Cohen e Monteiro [3], Chacon [4], Siegesmund et al. [5], Hooker [6], Donaldson [7], assim como o Marble Institute of America [8] e a American Society for Testing and Materials [9], entre outros.

No entanto, as anomalias que surgem nos RPN vêm muitas vezes defraudar as expectativas criadas relativamente a um revestimento do qual se espera bom desempenho e durabilidade. De facto, de uma forma aparentemente incoerente, verifica-se o incremento da ocorrência de situações patológicas em revestimentos em pedra natural, nomeadamente nos primeiros anos de vida, o que pode ser explicado por factores tão diversos como a ausência de critérios de selecção e de conhecimento da pedra a aplicar, uma análise comparativa de materiais meramente economicista, prazos reduzidos, falta de formação e de sensibilização dos técnicos envolvidos em fase de projecto e também de execução, mão-de-obra não especializada, inadequação do tipo de pedra ao meio envolvente, desconhecimento técnico ou exclusiva atenção a factores estéticos. A frequente desarticulação entre projectistas das especialidades e intervenientes em fase de obra resulta em omissões ou incompatibilidades entre os vários elementos da solução prescrita (ex.: os sistemas de ligação ao suporte), sendo estas apenas constatadas em fase de construção. As omissões nos cadernos de encargos também acabam por contribuir para resultados finais anómalos e anomalias não desejáveis ou mesmo graves.

Para minimizar estas situações, técnicos de diversos países têm contribuído, realizando estudos relacionados com a durabilidade dos RPN e estudando um conjunto de edifícios em diversas zonas geográficas, de forma a compreender e explicar anomalias, testando e avaliando diferentes características, o risco e a previsão da vida útil a fim de melhorar a segurança e a confiança neste tipo de revestimentos. Um exemplo destes estudos é o caso do TEAM EC Project [10], que estudou cerca de 200 edifícios, incidindo este estudo no mármore e pedra calcária, de forma a investigar a durabilidade de RPN com estes tipos de pedra.

Face a este cenário, e adicionando o

investimento que se torna necessário posteriormente, já em fase de utilização, em manutenção e reparação do edificado, é fundamental criar, aferir e divulgar ferramentas que possam ser úteis a uma adequada estratégia de manutenção de revestimentos em pedra natural.

Neste sentido, e no âmbito de uma dissertação de Mestrado [11], foi criada uma ferramenta de apoio à inspecção e diagnóstico de revestimentos em pedra natural (RPN) de paredes e pavimentos que, de forma inovadora nesta área, permite sistematizar e objectivar inspecções a este tipo de revestimento, e que deverá ser incluída num plano de manutenção ao nível da prevenção da degradação destes revestimentos e do seu suporte.

A partir da informação relativa a anomalias e suas causas prováveis, foram construídas matrizes de correlação anomalias - causas, inter-anomalias, anomalias - métodos de diagnóstico e anomalias - técnicas de reparação. Além destas matrizes, foram construídas fichas com informação relacionada com cada tipo de anomalia, método de diagnóstico e técnica de reparação [12]. As matrizes, obtidas na fase anterior à realização das inspecções, foram aferidas, após o trabalho de campo desenvolvido (inspecções a 128 RPN em 59 edifícios), permitindo, conjuntamente com o apoio de fichas de inspecção e de validação, a validação do sistema. Procedeu-se ao tratamento estatístico dos dados recolhidos na campanha de inspecções, do qual foi possível retirar algumas conclusões de interesse acerca dos fenómenos patológicos que podem ocorrer em RPN e da actuação ao nível da prevenção da degradação destes revestimentos e do seu suporte.

No seguimento deste trabalho, Silva [13], que desenvolveu uma dissertação de Mestrado referente à previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes, tendo sido definido um padrão de degradação e de uma vida útil de referência para este tipo de revestimentos [14].

2 PATOLOGIA E SISTEMA CLASSIFICATIVO

As anomalias em RPN em paredes e pisos resultam das diferentes respostas da pedra às solicitações exteriores, das suas características mineralógicas e físico-mecânicas, do sistema de fixação utilizado, agentes atmosféricos, erros de projecto e de execução, cuidados posteriores à sua

colocação tais como manutenção e limpeza, entre outros.

A dificuldade em determinar relações causa-efeito (dada a variedade de anomalias observadas) põe em causa a determinação e avaliação das causas das anomalias partindo das suas manifestações e consequências. De forma a sistematizar e objectivar esta tarefa, é proposto um sistema classificativo de anomalias e suas causas, baseado em literatura especializada, na campanha de inspecções e na experiência dos autores na sua identificação, através do qual, e após a sua observação, se identifique a que grupo pertence essa anomalia, identificando-se posteriormente a(s) sua(s) causa(s) directas e/ou indirectas. Com esta informação, foram elaboradas matrizes que mostram o grau de correlação entre as anomalias e as suas causas e ainda a matriz de correlação de anomalias entre si. Além desta classificação, e embora não descrito deste artigo, é proposto um sistema classificativo de métodos de diagnóstico e técnicas de reparação, e as respectivas matrizes de correlação com as anomalias.

O sistema classificativo proposto e os seus instrumentos foram detalhados num outro artigo dos mesmos autores [10], e tornam-se bastante úteis no apoio a trabalhos de inspecção em RPN, de forma integrada numa estratégia de manutenção. Este sistema classificativo é semelhante a outros já propostos para outros materiais e elementos ([15] - pontes rodoviárias; [16] - pavimentos epóxidos; [17] - revestimentos cerâmicos; [18] - membranas de impermeabilização; [19] - placas de gesso laminado; [20] - estuques).

2.1 Sistema de classificação das anomalias

A classificação das anomalias em RPN aqui proposta divide as anomalias em 7 famílias e 18 sub-famílias pretendendo-se que a identificação das mesmas resulte apenas da observação visual, sem recorrer a ensaios *in situ* ou laboratoriais.

Nos grupos definidos, com base no trabalho de campo, distinguem-se as anomalias localizadas na placa de revestimento, isto é, referentes à pedra em si e à alteração das suas características, e três grupos referentes a anomalias observadas no sistema de revestimento que inclui a placa de pedra, juntas e elementos de fixação (Tabela 1), de acordo com os autores e com literatura relacionada [21] [22]:

- A-A: alteração cromática;
- A-F: fracturação ou fissuração;
- A-B: presença de elementos biológicos ou outros;
- A-P: perda, alteração volumétrica ou deterioração do material pétreo;
- A-DE: descolamento ou desprendimento da placa pétrea;
- A-JU: anomalias nas juntas;
- A-Fi: anomalias nos elementos de fixação.

Algumas das anomalias referidas como sendo localizadas na placa de pedra poderão, a prazo, contribuir para as anomalias citadas como situadas no sistema de revestimento (por exemplo, a fracturação de uma placa poderá contribuir para o desprendimento parcial ou total de um elemento de revestimento). Por outro lado, o desprendimento poderá também ser causado pela lascagem (em elementos do material pétreo) nas zonas onde se localizam os elementos metálicos de fixação.

No trabalho efectuado aquando das inspecções *in situ*, cada anomalia detectada foi avaliada consoante o seu nível de gravidade / urgência de intervenção, de acordo com a seguinte graduação:

- 0 - necessidade de intervenção imediata, até 6 meses, incluindo-se neste grupo apenas os casos em que existe a queda de elementos pétreos em fachadas, acima do piso térreo, em que não existam protecções arquitectónicas a esse nível que impeçam a ocorrência de danos nos transeuntes que circulem na via pública junto ao edifício;
- 1 - necessidade de intervenção a médio prazo, até a 1 ano, onde se incluem todas as situações de descolamento ou destacamento de elementos do RPN que põem em causa a função de revestimento do suporte, ou nos casos em que os fenómenos anómalos de menor gravidade afectam já uma área apreciável do revestimento;
- 2 - necessidade apenas de monitorizar a evolução da anomalia, em particular na inspecção seguinte ao RPN.

2.2 Sistema classificativo das causas prováveis

O vasto leque de causas prováveis para a deterioração da pedra poderá incluir, entre muitas outras, a influência de factores climáticos [23] e o impacto das formas arquitectónicas de um edifício (exposição abrigada ou não, ou caminhos preferenciais da chuva), estudados por Grossi et al. [24] e por Chew e Tan [25], respectivamente, ou a escolha inadequada de procedimentos de limpeza,

tratamentos de protecção ou aplicação de biocidas, referidos por Warscheid e Braams [26].

Na Tabela 2, correspondente à classificação proposta das causas prováveis das anomalias, estas foram seriadas por ordem cronológica, pelo que a lista se inicia pelos erros de projecto, seguindo-se os erros de execução, as acções de origem mecânica exterior, as acções ambientais, as falhas de manutenção e, por último, a alteração das condições inicialmente previstas. As causas prováveis são descritas num outro artigo dos mesmos autores [12].

3 PLANO DE INSPECÇÕES EM RPN

O planeamento das inspecções a RPN é essencial para o seu sucesso. De facto, para a execução de um correcto diagnóstico pela equipa que realiza as inspecções, deverão ser preparadas fichas de inspecção e fichas de anomalias, bem como material necessário à inspecção (binóculos, marcadores, réguas, equipamento de medição, equipamento fotográfico ou outros acessórios que se considerem necessários). A campanha de inspecções a RPN no âmbito deste estudo teve como objectivo principal a validação do sistema proposto. As fichas de validação foram utilizadas aquando das visitas, obtendo-se os resultados apresentados neste artigo. Na aplicação do sistema proposto como ferramenta de trabalho, deve programar-se, a par das visitas realizadas para avaliar as deficiências do revestimento, um programa de inspecções que inclua visitas periódicas (correntes ou detalhadas) e não periódicas (visitas pré e pós-intervenção).

Nas visitas feitas, é dada especial atenção a manifestações que indiquem descolamentos / desprendimentos iminentes de placas pétreas em fachadas, mesmo que em áreas reduzidas, já que a estas anomalias estão associados fenómenos patológicos que progridem rapidamente, sendo as que podem originar problemas mais graves para os utilizadores dos espaços envolventes do revestimento.

3.1. Caracterização da amostra

A opção pelo Parque das Nações como a zona onde foram realizadas a maioria das inspecções deste estudo (81 dos 128 RPN observados), prendeu-se com o facto de ser uma zona ribeirinha, de construção recente (os RPN inspeccionados

tinham idades compreendidas entre 1 e 15 anos) mas que, incoerente e surpreendentemente, exhibe um número elevado de anomalias em RPN (foi observada uma média de 2,2 anomalias por cada RPN inspeccionado), sendo esta uma problemática actual que poderá ser explicada pelas razões abordadas em 1. Nesta área de Lisboa, foi idealizado um ambicioso plano que incluiu dois projectos interligados entre si: a realização da última Exposição Mundial do século XX, Expo'98 (entre 22 de Maio e 30 de Setembro de 1998, sob o tema "Os Oceanos, um Património para o Futuro"), e a requalificação urbana e ambiental de uma área de cerca de 340 hectares, localizada privilegiadamente na zona oriental da cidade de Lisboa, com 5 km na frente ribeirinha do estuário do rio Tejo. Este projecto foi a oportunidade para a criação de uma "cidade nova", com edifícios de habitação, empresas, equipamentos, zonas de lazer e arte pública, onde a arquitectura tem o seu máximo expoente nas suas mais variadas expressões, através da singularidade e qualidade arquitectónica das edificações, que hoje traduzem uma renovada relação com a frente ribeirinha e valorizam e consolidam uma nova imagem urbana.

Do universo total dos 128 RPN observados nas inspecções realizadas, 63% de RPN eram em paredes (das quais 21% paredes interiores e 79% paredes exteriores) e 37% de pavimentos (34% de pavimentos exteriores e 66% de pavimentos interiores). Esta amostra caracteriza-se por incluir, nos RPN analisados, dois tipos de fixação: 107 RPN com fixação directa e 21 que foram colocados recorrendo a fixação indirecta.

3.2. Fichas de inspecção

Para efectivar as inspecções aos revestimentos pétreos, foram concebidas fichas de inspecção baseadas em trabalhos anteriores [27] [28] [29] [30], que têm por função a caracterização dos edifícios onde se localizam os RPN objecto de vistoria, dos materiais e das condições relacionadas com a execução do revestimento. O conteúdo destas fichas resulta das inspecções realizadas e compreende as informações consideradas mais importantes para caracterização do observado (revestimento, edifício e sua envolvente), contemplando as anomalias detectadas e incluindo todas as informações relacionadas, o mapeamento e levantamento fotográfico das mesmas, o resultado dos ensaios *in*

situ (caso estes tenham lugar) e as zonas do RPN que devem merecer especial atenção nas futuras inspecções. Cada ficha de inspecção contém os seguintes campos de preenchimento:

- Cabeçalho, com o número da ficha de inspecção, a data em que esta ocorreu, o responsável pela mesma e respectiva função e o objectivo da inspecção;
- Para cada edifício: localização, descrição sucinta, ano de construção, número de pisos acima do solo, tipo de utilização principal e sumária caracterização construtiva, número de fachadas livres (em revestimentos exteriores de edifícios), número de fachadas com RPN (e revestimento das fachadas restantes), área total de revestimento no edifício e percentagem do RPN, caracterização da envolvente do edifício (com referência à sua exposição a agentes poluentes), indicação do tipo de envolvente (urbana, marítima), agressividade da acção chuva - vento nas fachadas, proximidade do mar e exposição à humidade. São ainda anotados contactos com intervenientes no processo construtivo ou com utilizadores e notas de interesse;
- Para cada RPN vistoriado em cada edifício: data de execução do RPN, sua localização (interior ou exterior) e tipo de aplicação (pavimento ou parede). Em casos de RPN em fachadas, identificação do tipo de fachada (principal, lateral ou de tardoz), da área da fachada e da respectiva orientação. Em casos de RPN em interiores, indicação do piso onde se localiza e do tipo de compartimento (zona húmida ou seca). Neste campo de preenchimento, é ainda feita a caracterização dos materiais constituintes do RPN (através do tipo de pedra, da cor, do acabamento superficial, das dimensões da placa e da designação do tipo de fixação), a caracterização das juntas de assentamento entre placas (largura e material de preenchimento), de esquadramento ou elásticas (largura, área definida e material de preenchimento) e estruturais (largura e material de preenchimento). São anotadas aqui informações relacionadas com a execução do RPN, caracterização do suporte onde o revestimento foi aplicado e eventual existência de elementos de protecção de zonas periféricas ou salientes;
- Relativamente às eventuais operações de manutenção registadas nos RPN vistoriados: tipo e periodicidade das inspecções ou

intervenções, características das intervenções (data de execução e tipologia da mesma, técnica e materiais utilizados), os meios de acesso existentes nas fachadas e a eventual anotação de observações finais de inspecção.

3.3 Fichas de validação

Para validar o sistema proposto, foram criadas fichas de validação, baseadas em trabalhos anteriores (Brito 1992, Walter 2002, Silvestre 2005, Garcia 2006). Nessas fichas, criadas para cada RPN inspeccionado, foram registadas as anomalias identificadas em concordância com a classificação apresentada em 2.1. Cada anomalia é caracterizada em função da zona do RPN em que aquela ocorre e da área de revestimento afectada, sendo registados todos os dados com interesse para a caracterização da urgência de intervenção de cada uma das anomalias, de acordo com fichas elaboradas individualmente para cada uma destas [11].

Para cada anomalia, são seguidamente assinaladas *in situ* as causas prováveis directas e indirectas para a ocorrência das mesmas, tendo em conta as observações realizadas e o sistema classificativo apresentado em 2.2. Estas informações, compiladas numa base de dados, permitem a validação do sistema e a realização do correspondente tratamento estatístico, que é apresentado de seguida.

4 RESULTADOS DA CAMPANHA DE INSPECÇÃO

A campanha de inspecções validou a totalidade do sistema classificativo proposto que inclui não só o sistema de classificação das anomalias e causas prováveis, mas também o sistema de classificação dos métodos de diagnóstico e técnicas de reparação, bem como as respectivas correlações espelhadas em matrizes apresentadas em Neto e Brito [12]. Com base na informação recolhida, foi elaborado o tratamento estatístico dos dados obtidos dos quais se apresentam os mais relevantes.

4.1 Análise da frequência das anomalias

Apresenta-se na Figura 1 a contribuição de cada grupo de anomalias na amostra segundo a classificação e agrupamento de anomalias proposta

em 2.1. Da análise dessa figura, apreende-se a forte presença das anomalias do grupo A-A (alteração cromática), quando comparado com os outros grupos em análise.

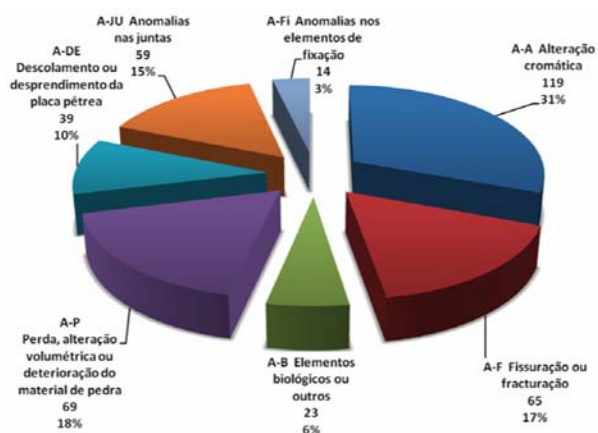


Fig. 1 - Frequência relativa e absoluta de ocorrência das anomalias identificadas nos 128 casos de RPN inspeccionados [11]

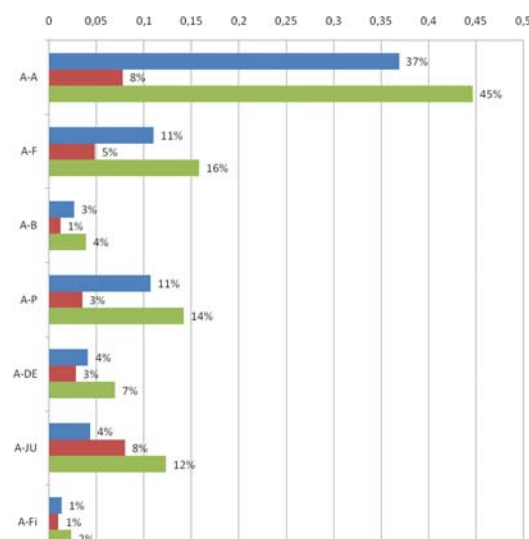
Foram seleccionados dois dos grupos de anomalias, A-A (pela elevada representatividade) e A-DE (por ser um grupo de anomalias relacionado com o tipo de fixação dos RPN), para se proceder a uma análise mais aprofundada. Neste sentido, constatou-se que as anomalias pertencentes ao grupo A-A (alteração cromática) ocorreram cerca de 3,68 vezes mais em RPN de fixação directa de paredes exteriores (fachadas) do que em casos de fixação indirecta, de um total de 119 ocorrências de A-A. Este resultado seria expectável para estas anomalias face às desvantagens e consequentes anomalias que o método apresenta face a uma fixação indirecta. Por exemplo, a alteração cromática da placa caracterizada por manchas de produtos enodoantes em toda a sua zona periférica, e que surge prematuramente, altera a leitura estética do edifício e é uma anomalia frequente nos revestimentos em que as placas pétreas foram coladas (Figura 2). Estas manchas resultam da utilização de produtos de assentamento que possuem constituintes, tais como solventes de mastiques betuminosos existentes nos produtos de preenchimento das juntas que, ao serem absorvidos pela placa de pedra, provocam o aparecimento de manchas. Estas podem ser prelúdio de descolamento das placas pétreas, sendo que a sua reabilitação implica uma solução com custos elevados.

Fazendo uma análise semelhante para as anomalias A-DE1 e A-DE2, pertencentes ao grupo A-DE (descolamento ou desprendimento da placa

pétrea) detectadas em fachadas (Figura 2), verifica-se que as inspecções comprovaram que os descolamentos em RPN de fixação directa são em número significativamente superior (83%, para o universo de 19 anomalias A-DE detectadas) aos desprendimentos que foram observados em RPN de fixação indirecta (17%), tal como acontece relativamente a manchas e outras alterações cromáticas em RPN.

A relação entre a área de RPN afectada com anomalias e a área total do revestimento em análise foi outro aspecto analisado neste estudo, tendo-se constatado na amostra observada que cerca de 17% da área total dos RPN se encontra afectada com algum dos tipos das anomalias em estudo.

As inspecções realizadas na campanha efectuada contemplaram ainda a identificação do valor estético das zonas afectadas, tendo em conta a classificação apresentada na ficha de validação (podendo tomar os níveis de excepional, alto ou médio / baixo), estando esse resultado na Figura 3, que evidencia a predominância dos valores atribuídos a médio / baixo, para as anomalias observadas em interiores. Nos exteriores, grande parte das anomalias verificadas é de valor estético predominantemente alto, devido ao seu impacte visual.



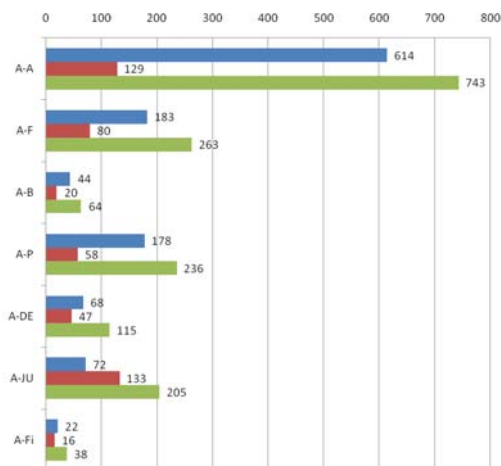


Fig. 2 - Frequência relativa e absoluta de ocorrência dos grupos de anomalias na totalidade dos RPN (a verde), em RPN de pavimentos (a vermelho) e em RPN de paredes (a azul) [11]

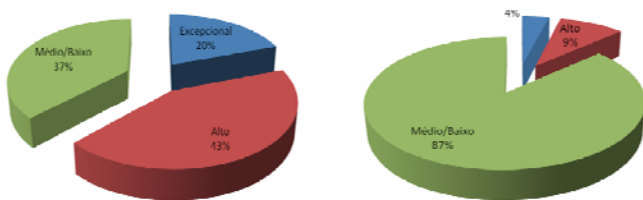


Fig. 3 - Valor estético das anomalias na amostra em exteriores e interiores à esquerda de direita, respectivamente

4.2 Análise da frequência das causas prováveis

O tratamento estatístico realizado para as causas prováveis associadas à ocorrência de cada anomalia na amostra permitiu a elaboração de gráficos e a obtenção de conclusões interessantes.

Da Figura 4, ressalta que, neste estudo, os tipos de causas que provoca mais anomalias nos RPN inspeccionados são os erros de execução (C-E), as acções ambientais (C-A) e os erros de projecto (C-P). Destes dados se conclui que importa reforçar a divulgação da informação relacionada com a tecnologia de execução e soluções de concepção / especificação de RPN bem como a sua adequação ao local a revestir, que são actualizadas com o desenvolvimento de soluções nessa área, incidindo essa divulgação por todos os intervenientes no processo construtivo, de modo a minimizar frequentes erros de concepção, execução e utilização.

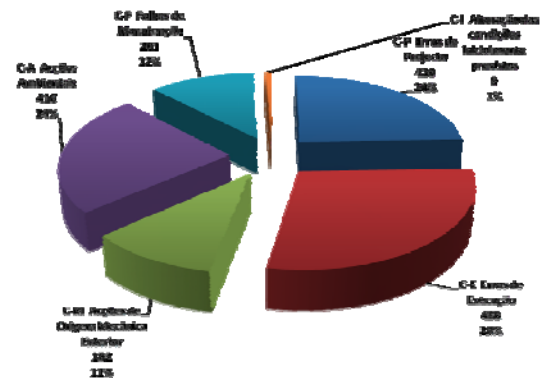


Fig. 4 - Percentagem de ocorrência dos vários grupos de causas [11]

A Figura 5 apresenta a contribuição absoluta de cada um dos grupos de causas para a ocorrência de cada grupo de anomalias na amostra, mostrando que o grupo de anomalias A-A (alteração cromática) é o mais afectado pelas causas C-P, C-E e C-A.

Seguem-se as Figuras 6 e 7, em que são apresentadas as frequências relativas de associação das causas às anomalias observadas, dentro do universo estudado, sendo o primeiro gráfico relativo às situações em que o grau de correlação anomalia - causa provável foi considerado indirecto, constituindo o segundo a representação das situações em que as causas foram consideradas directas. Verifica-se a predominância das causas dos grupos C-E (erros de execução) e C-P (erros de projecto) como contribuições indirectas para a ocorrência das anomalias (40% e 42%, respectivamente), realçando a importância de actuar ao nível da concepção dos RPN, com o objectivo de evitar grande parte das anomalias detectadas. Além disso, e como seria de esperar, as acções ambientais são as que mais contribuem como causas directas, por os RPN estarem muito expostos ao meio ambiente. Por outro lado, estas são muitas das vezes anomalias associadas à fase final do processo de deterioração, sendo estas causas uma das razões principais da degradação.

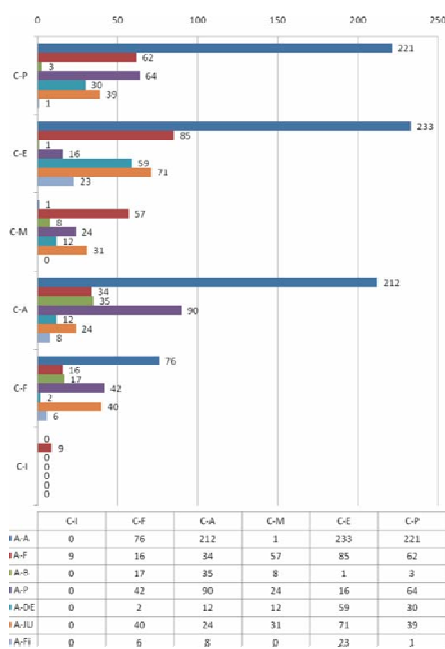


Fig. 5 - Contribuição absoluta de cada um dos grupos de causas para a ocorrência de cada grupo de anomalias na amostra [11]

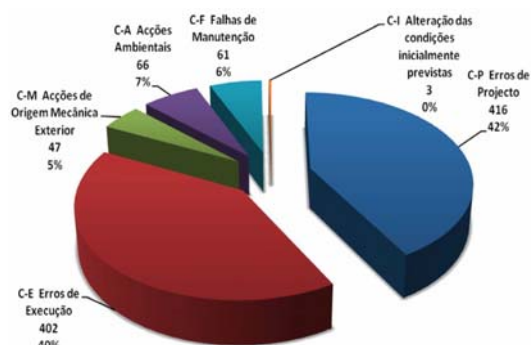


Fig. 6 - Percentagem de ocorrência, com correlação indirecta, dos vários grupos de causas [11]

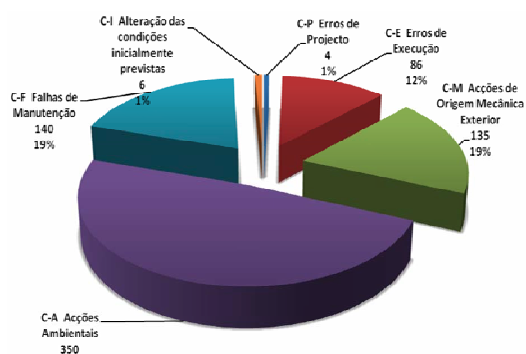


Fig. 7 - Percentagem de ocorrência, com correlação directa, dos vários grupos de causas [11]

Analisou-se também a contribuição de cada causa individual para a ocorrência dos diversos tipos de anomalias, apresentando-se as frequências relativas das causas. Estes valores foram obtidos

para cada grupo de anomalias, dividindo cada causa de anomalia pelo n.º total de causas dessas anomalias. Assim, a Figura 8 mostra que o agrupamento de anomalias A-A (alteração cromática) tem maior contribuição das causas C-A1 (10%), C-E3 (9%) e C-P1, C-P2, C-E1, C-E2, C-A7 e C-F1 (estas seis com 8%). De acordo com a Figura 9, relativamente ao grupo de anomalias A-F (fissuração ou fracturação), a aplicação em obra de placas pétreas fragilizadas ou fissuradas (C-E5) destaca-se das restantes com um valor de 19%. Deste facto resultam os cuidados que deverá haver em obra, não só no manuseamento das placas de pedra natural, mas também no controlo de qualidade aquando da recepção desse material. Apresenta-se na Figura 10 o gráfico relativo ao grupo A-B (elementos biológicos ou outros), em que a contribuição das causas é muito dispar, verificando-se que as causas C-A1 (ciclos molhagem - secagem, acção da água, agentes químicos dos materiais do solo) e C-A6 (acção biológica ou química) contribuem com 22% e que grande parte das causas não contribui para a presença desta anomalia. De facto, a água nas suas diferentes fases favorece e mantém a presença de organismos biológicos ou vegetação nestes revestimentos. Das causas que não contribuem para a presença destas anomalias destacam-se a totalidade do grupo C-I e a maior parte das causas dos grupos C-P, C-E, C-M e C-A.

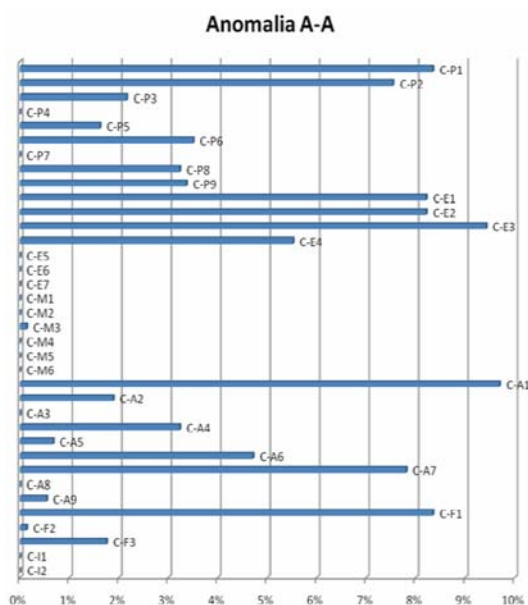


Fig. 8 - Contribuição das causas nos 119 casos de ocorrência do grupo de anomalias A-A (alteração cromática) [11]

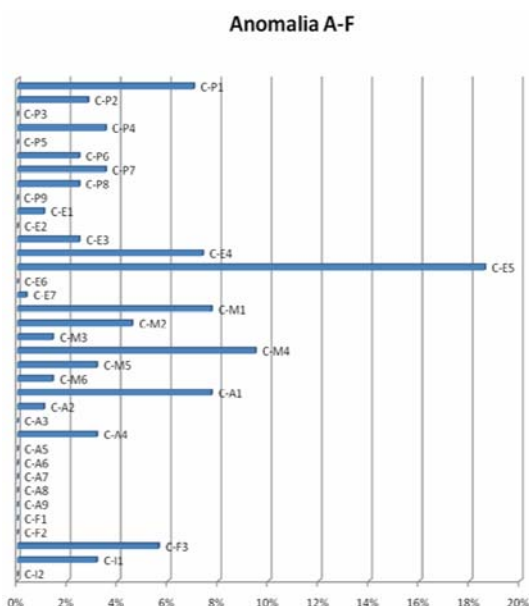


Fig. 9 - Contribuição das causas nos 65 casos de ocorrência do grupo de anomalias A-F (fissuração ou fracturação) [11]

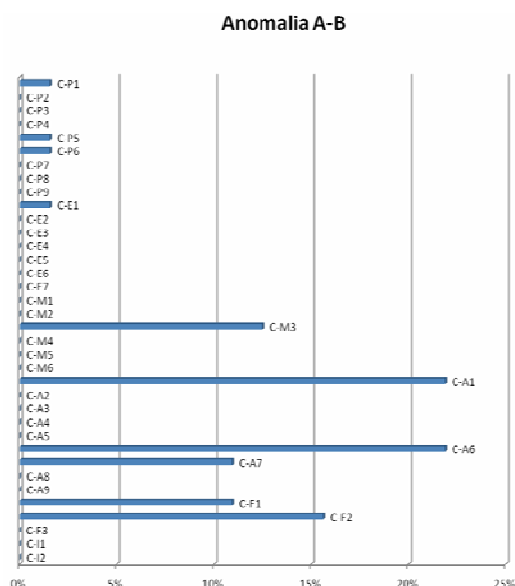


Fig. 10 - Contribuição das causas nos 23 casos de ocorrência do grupo de anomalias A-B (elementos biológicos ou outros) [11]

No caso do grupo A-P (Figura 11), anomalias referentes a perda, alteração volumétrica ou deterioração do material pétreo, são duas as causas que se destacam: C-P1 (prescrição de materiais com características inadequadas, incompatíveis ou omissas) com 18% e C-A1 (ciclos molhagem - secagem, acção da água, agentes químicos dos materiais do solo) com 15%. De facto, verifica-se que ainda existem muitos casos em que, no momento da concepção, a escolha das pedras para exteriores se rege quase exclusivamente pelo critério estético, em detrimento da sua adequação

ao local e função resistente ou de uso que irá ter. Tais opções ou desconhecimento técnico levam ao aparecimento precoce de muitas das anomalias em RPN, situação que poderia ser evitada pelos seus prescritores.

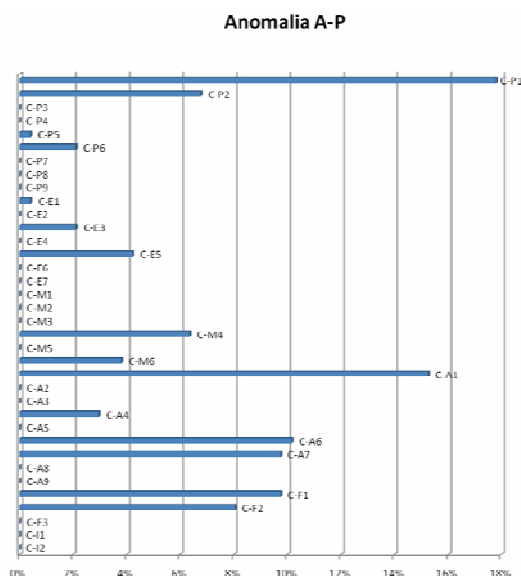


Fig. 11 - Contribuição das causas nos 69 casos de ocorrência do grupo de anomalias A-P (perda, alteração volumétrica ou deterioração do material pétreo) [11]

Na Figura 12, é possível verificar a influência da causa C-E4 (aplicação em suportes irregulares ou deficiências de fixação) na ocorrência do grupo de anomalias A-DE (descolamento ou desprendimento da placa pétrea), com 25% das situações observadas. Nas inspecções realizadas, foram diversos os casos observados em que o descolamento existente ou iminente se verificava em casos de fixação directa, especialmente em fachadas, técnica não aconselhada para a fixação, embora frequentemente aplicada nos revestimentos, provocando o aparecimento repetitivo desta anomalia.

No grupo de anomalias nas juntas, A-JU, representado na Figura 13, existem três causas de ocorrência que contribuem com maior valor: C-F2 com 14% (ausência de manutenção das juntas), C-E6 (desrespeito pelas dimensões previstas para as juntas ou assentamento de placas nas juntas de dilatação do suporte) e C-M6 (circulação de pessoas ou veículos em pavimentos) com 11%. A contribuição desta última verifica-se especialmente em pavimentos exteriores, dado o tráfego pedonal ou outro, que promove o desgaste do material das juntas. Salienta-se a detecção de ausência de juntas elásticas em grande parte dos RPN vistoriados,

mesmo no caso das áreas contínuas de grande dimensão.

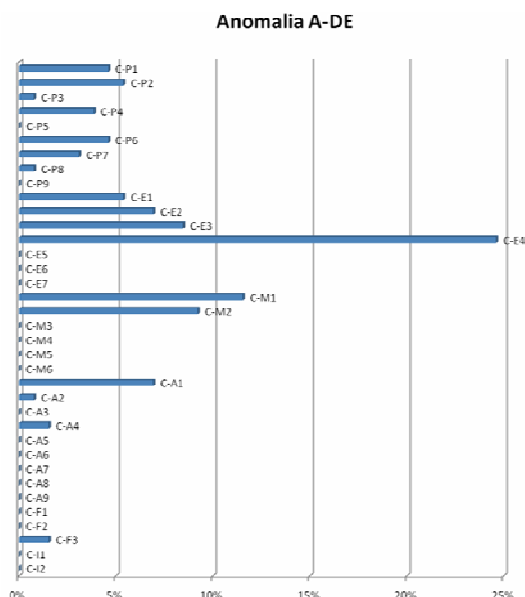


Fig. 12 - Contribuição das causas nos 39 casos de ocorrência do grupo de anomalias A-DE (descolamento ou desprendimento da placa pétrea) [11]

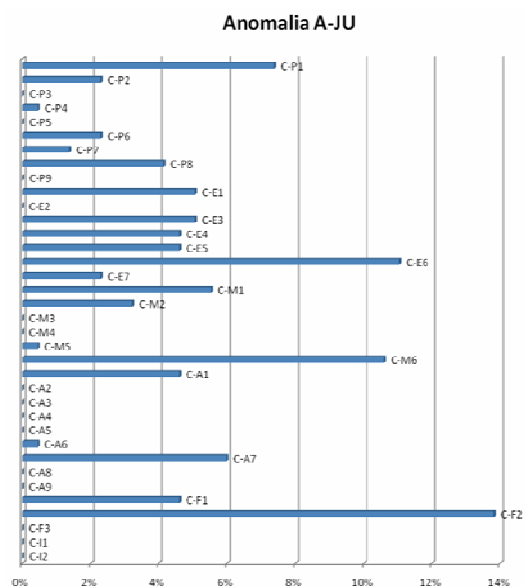


Fig. 13 - Contribuição das causas nos 59 casos de ocorrência do grupo de anomalias A-JU (anomalias nas juntas) [11]

Tal como para o grupo A-B, referente a anomalias relativas a elementos biológicos ou outros, verifica-se que no grupo A-Fi (anomalias nos elementos de fixação), representado na Figura 14, a maioria das causas não contribui para o aparecimento destas. A sua presença deve-se apenas a sete causas, destacando-se 32% para a causa C-E5 e 29% para a causa C-E4, seguindo-se com 11% as causas C-A7 e C-A1, 8% para as

causas C-F1 e C-F3 e 3% para a causa C-P9.

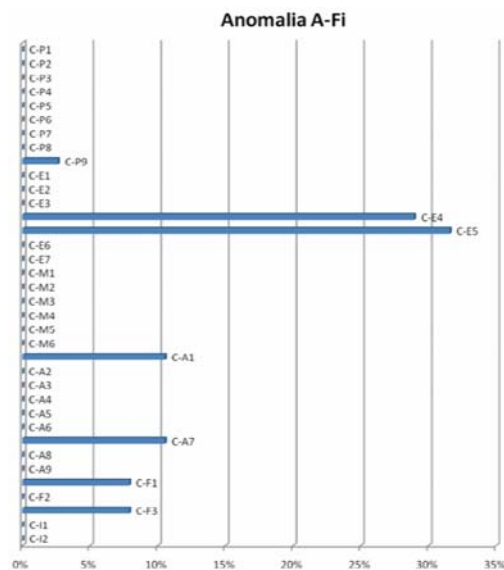


Fig. 14 - Contribuição das causas nos 14 casos de ocorrência do grupo de anomalias A-Fi (anomalias nos elementos de fixação) [11]

4.3 Análise comparativa de pavimentos e paredes

Analisando comparativamente paredes e pisos, verifica-se através da Figura 15 que, na amostra estudada, existe uma concentração relativa de anomalias diferente em pavimentos e paredes, 43% e 57% respectivamente. Separando estas últimas em exteriores e interiores, foi observado que, enquanto que nas paredes interiores se detectaram 12% das anomalias, esse valor foi de 45% para as paredes exteriores, o que representa aproximadamente quatro vezes mais do que nas paredes interiores, situação justificada pela exposição exterior e facilidade de contacto directo com os utilizadores destes revestimentos. Ao nível dos pavimentos, verificam-se valores de 21% e de 22% para pavimentos interiores e exteriores, respectivamente.

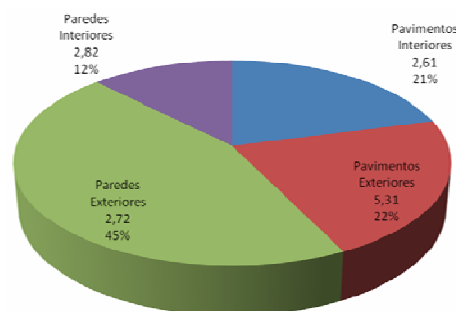


Fig. 15 - Concentração das anomalias nas diferentes tipologias do universo da amostra utilizada [11]

A Figura 2 retrata a frequência de ocorrência dos vários grupos de anomalias (isto é, de pelo menos uma anomalia pertencente ao grupo em questão) por total de RPN, por total de pavimentos e por total de paredes. Consta-se que as anomalias pertencentes ao grupo A-A (alteração cromática) surgem maioritariamente em paredes (pesando nesta parcela as paredes exteriores), tomando o valor de 37%, significativamente mais elevado do que o obtido em pavimentos (8%), o que é reflexo da frequente selecção de um tipo de fixação inadequado para colocação de RPN em fachadas, da sua colocação incorrecta ou de acções ambientais sobre o revestimento. O oposto ocorre relativamente ao grupo de anomalias A-JU (anomalias nas juntas), em que as deficiências detectadas se referem na sua maioria a situações em pavimentos, que surgem devido ao natural desgaste resultante da sua utilização.

Nas Figuras 16 e 17, apresenta-se a percentagem ponderada de área total de RPN afectada por cada anomalia, de onde resulta que a dimensão das paredes influencia directamente este parâmetro, dado que apenas as anomalias do grupo A-A relativas a alterações cromáticas afectam em média mais de 30% das paredes, o que espelha o facto de esta anomalia ter correspondência frequente com manchas geralmente devidas a um inadequado tipo de fixação, não aconselhável às acções a que o RPN é exposto. Relativamente aos pavimentos, verifica-se que existem dois grupos de anomalias que afectam em média mais de 10% do pavimento, A-A (alteração cromática) e A-JU (anomalias nas juntas), espelhando a frequente falta de limpeza e de manutenção das juntas.

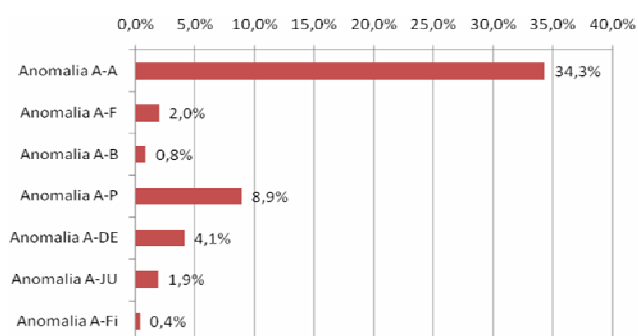


Fig. 16 - Percentagem de área de parede afectada por cada anomalia [11]

Da observação das Figuras 18 e 19 e sua comparação, é perceptível que as causas incluídas nas acções ambientais (C-A) e acções de origem mecânica exterior (C-M) são as que se salientam

em termos das percentagens de ocorrência das causas das anomalias em paredes e pavimentos. De facto, para as primeiras, verifica-se para C-A um valor de ocorrência de 29% e para C-M 5%; já no caso dos pavimentos esses valores são de 17 e 15%, respectivamente. Esta diferença de valores era expectável na medida em que as paredes se encontram mais expostas às condições ambientais do que os pavimentos (tendo em conta que na amostra analisada o termo “paredes” inclui paredes exteriores - 64 casos - e interiores - 17 casos, naturalmente pesando mais as primeiras para o resultado obtido). Relativamente a C-M, a percentagem de ocorrência três vezes menor obtida para as paredes reflecte a inacessibilidade de parte das paredes (em especial as exteriores) aos transeuntes e demais utilizadores pelas características de altura elevada que estas possuem; já os pavimentos encontram-se na sua totalidade expostos a acções mecânicas diversas. A diferença que se observa relativamente aos erros de projecto (C-P) poderá ser explicada com a frequente prescrição inadequada ou omissão de tipo de fixação de RPN especialmente em paredes exteriores, recorrendo-se à fixação directa, sendo uma das causas principais para a ocorrência de anomalias, como foi amplamente analisado nos resultados que foram obtidos ao longo deste estudo.

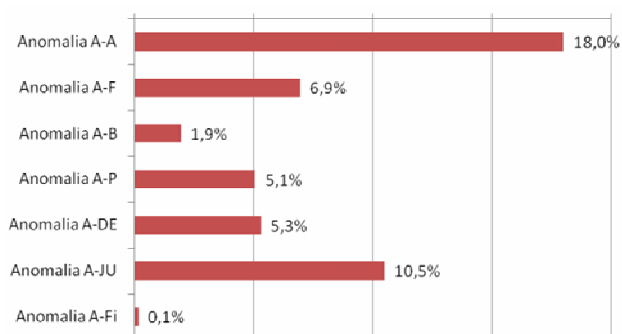


Fig. 17 - Percentagem de área de pavimento afectada por cada anomalia [11]

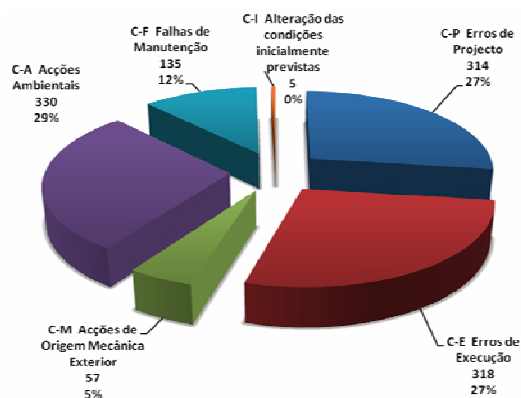


Fig. 18 - Frequência relativa e absoluta de ocorrência das causas das anomalias em paredes [11]

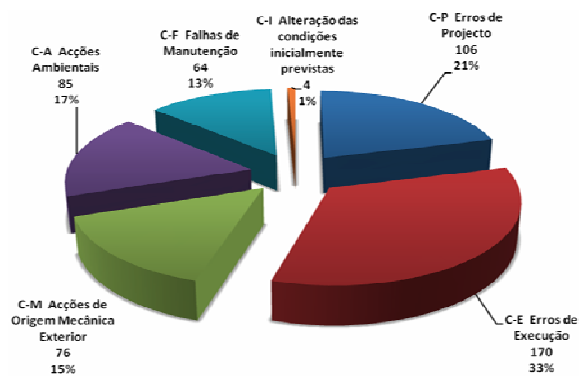


Fig. 19 - Frequência relativa e absoluta de ocorrência das causas das anomalias em pavimentos [11]

4.4 Análise comparativa entre revestimentos exteriores e interiores

A análise comparativa entre estes dois universos da amostra incidu sobre os 48 RPN interiores (31 pavimentos e 17 paredes) e os 80 RPN exteriores (16 pavimentos e 64 paredes). O número de RPN inspeccionados em paredes exteriores é elevado relativamente aos restantes (o peso relativo de anomalias em RPN exteriores é de 67%, enquanto que para interiores é de 33%). Estes valores reflectem a exposição mais elevada a agentes causadores de anomalias em RPN exteriores, como seria de esperar. A Figura 20 expõe a frequência de ocorrência dos vários grupos de anomalias (isto é, de pelo menos uma anomalia pertencente ao grupo em questão) por total de RPN, por total de RPN exteriores e ainda por total de RPN interiores.

As Figuras 21 e 22 exibem a contribuição relativa de cada grupo de causas para as 388 anomalias observadas, evidenciando as diferenças existentes entre RPN em exteriores e em interiores.

Atendendo apenas às manchas de cor antes de uma análise mais atenta, a contribuição global das causas para o aparecimento de anomalias em RPN exteriores é maior do que essa contribuição no total de RPN observados (a verde). Nos RPN interiores, verifica-se o oposto. Observando a Figura 21, verifica-se que cerca de 52% das anomalias em interiores têm contribuição dos grupos relativos a erros de execução (C-E), seguindo-se o grupo decorrente de falhas de manutenção (C-F) e ainda o grupo C-M (acções de origem mecânica exterior) com cerca de 39 e 35%, respectivamente. Relativamente aos exteriores, destacam-se as causas referentes a acções ambientais (C-A), erros de execução (C-E) e erros de projecto (C-P), com valores de cerca de 67, 63 e 56%, aproximadamente.

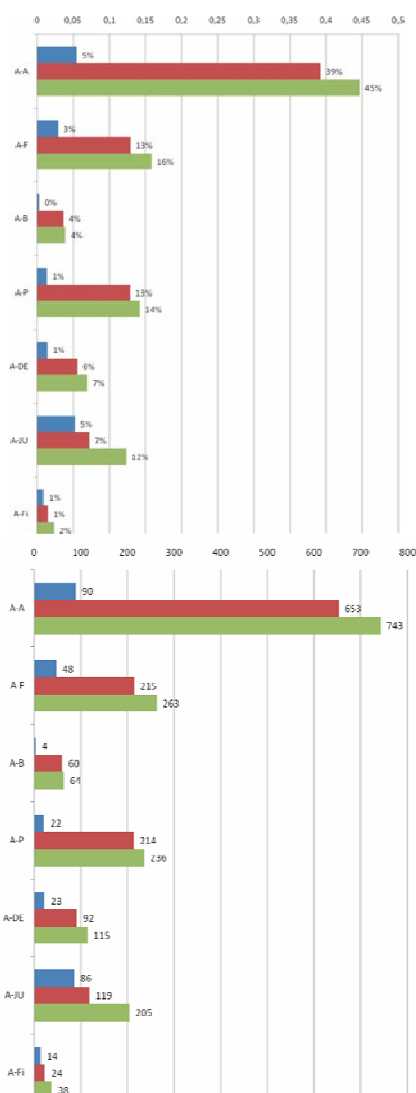


Fig. 20 - Frequência relativa e absoluta de ocorrência dos grupos de anomalias na totalidade dos RPN (a verde), em RPN em exteriores (a vermelho) e em RPN interiores (a azul) [11]

Fazendo uma análise comparativa dos resultados obtidos para cada um dos conjuntos, conclui-se que os erros de projecto (C-P), erros de execução (C-E), acções ambientais (C-A), falhas de manutenção (C-F) e alteração das condições inicialmente previstas (C-I) apresentam maiores contribuições para a ocorrência de anomalias em exteriores do que em interiores, verificando-se que para as acções de origem mecânica exterior (C-M) se constata o oposto. Para a primeira situação, tal deve-se a erros de projecto essencialmente relacionados com inadequadas escolhas de sistema de fixação para RPN em paredes exteriores, às acções ambientais que naturalmente agem mais activamente em RPN exteriores devido à sua localização e à dificuldade e periodicidade mais reduzida de acções de manutenção em exteriores comparativamente com interiores.

Os erros de execução, que se relacionam essencialmente com a frequente ausência de mão-de-obra especializada, prazos apertados em obra e procura de redução de custos (muitas vezes em relação ao preconizado), contribuem com valores elevados tanto em exteriores como em interiores, sendo o valor mais elevado da contribuição nos casos de RPN exteriores, o que pode ser explicado pela maior complexidade e dificuldade de execução destes RPN, nomeadamente em fachadas.

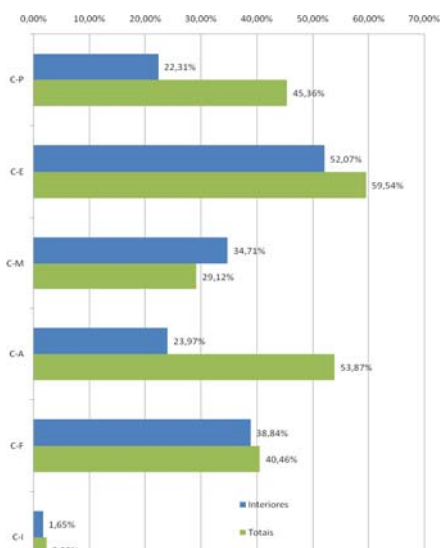


Fig. 21 - Contribuição de cada um dos grupos de causas para a ocorrência de anomalias em interiores (a azul), comparada com o mesmo parâmetro para o total de RPN (a verde) [11]

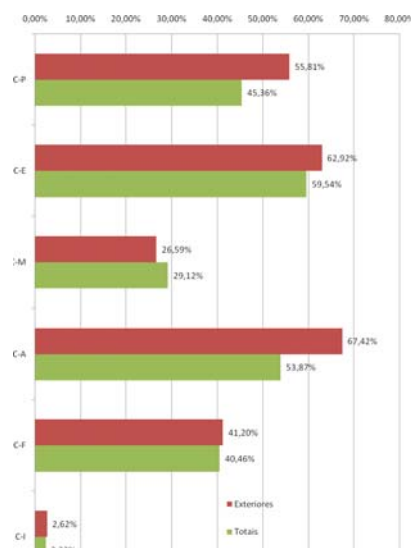


Fig. 22 - Contribuição de cada um dos grupos de causas para a ocorrência de anomalias em exteriores (a vermelho), comparada com o mesmo parâmetro para o total de RPN (a verde) [11]

5. PRINCIPAIS CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em conta a dimensão da campanha de inspecções efectuada aos RPN e com base na análise da informação recolhida, procedeu-se à validação do sistema classificativo proposto, obtendo-se informações muito significativas, relativamente às anomalias observadas mais frequentemente e respectivas causas prováveis, com inegável utilidade para todos os intervenientes e profissionais envolvidos nesta área. Apesar de a dimensão da amostra analisada na campanha de inspecções ser considerável, a continuação da realização de inspecções a RPN, que amplie o âmbito da amostra, permitirá apurar o sistema, tendo em vista a perspectiva da eliminação e prevenção das anomalias ao longo da vida útil do revestimento.

A análise estatística desenvolvida com base nos dados colhidos permitiu concluir que existem cerca de 4 a 5 vezes mais anomalias relacionadas com alteração cromática e descolamento ou desprendimento da placa pétrea em fixações directas do que em fixações indirectas. Ainda relativamente às anomalias, constatou-se que os grupos designados alteração cromática, fissuração ou fracturação e perda, alteração volumétrica ou deterioração do material pétreo são os mais relevantes na amostra estudada.

Relativamente às causas das anomalias, os grupos relativos às acções ambientais, erros de

projecto e erros de execução assumem um papel de destaque, sendo que estes últimos poderão ter menor influência no aparecimento de anomalias se houver formação e especialização adequadas dos trabalhadores, assim como o reforço da divulgação da informação relacionada com a tecnologia e soluções de concepção / especificação de RPN e a sua adequação ao elemento construtivo a revestir, junto dos diversos intervenientes no processo construtivo.

Comparando paredes e pisos, verifica-se que as deficiências detectadas em RPN de pavimentos exteriores são cerca do dobro (em cada unidade - RPN) do que nos restantes tipos de RPN estudados; o grupo de anomalias referentes à alteração cromática, que se destaca relativamente às restantes, surge maioritariamente em paredes (pesando nesta parcela as paredes exteriores), devido à opção frequente de fixação directa para este tipo de RPN; no grupo de anomalias nas juntas, as deficiências detectadas referem-se na sua maioria a situações que ocorrem em pavimentos, que surgem devido ao natural desgaste resultante da sua utilização.

A análise comparativa realizada entre exteriores e interiores, permitiu constatar que grande parte das anomalias em interiores tem contribuição dos grupos relativos a erros de execução, falhas de manutenção e acções de origem mecânica exterior; já em exteriores, destacam-se as causas referentes a acções ambientais, erros de execução e erros de projecto.

Confrontando a idade dos RPN constantes deste estudo (média de 7 anos) e as anomalias precoces que foram observadas (cerca de 17% da área dos RPN encontravam-se afectada com algum dos tipos das anomalias em estudo), verifica-se estar-se perante um cenário algo preocupante, podendo adivinhar-se um incremento do número de anomalias como decorrer do tempo, na medida em que estes revestimentos se encontram ainda no início da sua vida útil. Importa, pois, fomentar medidas que previnam, nas diversas fases de concepção, execução e manutenção dos RPN, o acumular de factores que possam favorecer o aparecimento dos fenómenos patológicos, para obter um edificado com qualidade mais elevada e muito provavelmente menos custos associados.

Algumas causas de anomalias facilmente podem nem sequer vir a existir na construção ou ser minimizadas, se o revestimento for concebido e executado adequadamente podendo ser muitas

vezes evitadas ainda na fase de projecto ou de execução, devendo as fase de projecto ou de execução, conjuntamente com a manutenção e reparação preventiva durante a vida útil do RPN, ser alvo de investimento. De facto, esse empenho será amplamente compensado através da diminuição dos custos das intervenções de reparação que são muitas vezes bastante elevados, mas também dos incómodos que as reparações causam inevitavelmente aos utilizadores desse revestimento de piso ou de parede.

Apesar dos avanços do conhecimento e da tecnologia, algumas das anomalias do sistema deste revestimento são ainda de difícil ou, em muitos casos, impossível correcção, restando a sua substituição. Torna-se por essa razão muito importante o conhecimento das propriedades petrográficas e físicas de cada tipo de pedra antes da sua preconização como material de revestimento para determinado local (fase de projecto), bem como uma rigorosa execução e adequada manutenção. O registo de todas as operações de reparação que sejam realizadas no revestimento pode tornar-se importante em operações posteriores, relativamente a opções que seja necessário tomar em novas intervenções.

REFERÊNCIAS

- [1] Winkler E. M. *Stone in Architecture*, Third edition, Springer, Berlin, Germany, 1994.
- [2] Lewis M. D. *Modern stone cladding: Design and installation of exterior dimension stone systems*, ASTM Manual Series: MNL 21, Philadelphia, USA, 1995.
- [3] Cohen, J. M., Monteiro, P. J. M. *Durability and integrity of marble cladding: a state-of-the-art review*. ASCE Journal of Performance and Constructed Facilities 1991, 5(2), 113–124.
- [4] Chacon M. A. *Architectural stone: Fabrication, installation, and selection*. Wiley, New York, 1999.
- [5] Siegesmund S., Weiss T., Vullbrecht, A. (Editors) *Natural stone, weathering phenomena, conservation strategies and case studies*. Special Publication 205, Geological Society, London, UK, 2002.
- [6] Hooker K. A. *Dimension stone anchoring guide*, Aberdeen's Magazine of Masonry Construction, pp. 208-213, 1994.
- [7] Donaldson B. (Editor) *New stone technology, design and construction for exterior wall systems*, American Society for Testing and

- Materials, 1988.
- [8] Marble Institute of America, Inc., Dimension stone design manual, Cleveland, USA, 1997.
- [9] American Society for Testing and Materials, ASTM C1242-96b, Standard guide for design, selection, and installation of exterior dimension stone anchors and anchoring systems, Philadelphia, USA, 1997.
- [10] TEAM EC Project. Final report testing and assessment of marble and limestone. GRD1-1999-10735, 2005.
- [11] Neto N. Sistema de apoio à inspecção e diagnóstico de anomalias em revestimentos em pedra natural. Dissertação de Mestrado em Construção no Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2008, 195 p.
- [12] Neto N., Brito, J. de. Sistema de apoio à inspecção e diagnóstico de anomalias em revestimentos em pedra natural (RPN), Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.º 17, Brasil, Maio de 2011, pp. 9-23.
- [13] Silva, A. Previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2009.
- [14] Silva A., Brito J. de, Gaspar, P. Service life prediction model applied to natural stone wall claddings (directly adhered to the substrate). Construction and Building Materials 2011, 25 (9), 3674-3684.
- [15] Branco F. A., Brito J. de Handbook of concrete bridge management. ASCE Press; Reston - VA, USA, 2004, 468 p.
- [16] Garcia J., Brito J. de Inspection and diagnosis of epoxy resin industrial floor coatings. ASCE Journal of Materials in Civil Engineering 2008, 20(2): 128-136.
- [17] Silvestre J. D., Brito J. de Ceramic tiling in building façades: Inspection and pathological characterization using an expert system. Construction and Building Materials 2011, 25(4): 1560-1571.
- [18] Walter A., Brito J. de, Grandão Lopes J. Current flat roof bituminous membranes waterproofing systems - inspection, diagnosis and pathology classification. Construction and Building Materials 2005, 19(3): 233-242.
- [19] Gaião C., de Brito J. de, Silvestre J. Inspection and diagnosis of gypsum plasterboard walls, Journal of Performance of Constructed Facilities, aceite para publicação em 2010.
- [20] Pereira A., Palha F., de Brito J. de, Silvestre J. Inspection and diagnosis system for gypsum plasters in partition walls and ceilings. Construction and Building Materials 2011, 25(4): 2146-2156.
- [21] Henriques, F. M. A.; Rodrigues, J. D.; Aires-Barros, L.; Proença, N. Materiais pétreos e similares - terminologia das formas de alteração e degradação. LNEC, Lisboa, Portugal, 2005.
- [22] Aires-Barros L. As rochas dos monumentos portugueses - tipologias e patologias. Volumes I e II, Instituto Português do Património Arquitectónico, Lisboa, Portugal, 2001.
- [23] Marini P., Bellopede R. The influence of the climatic factors on the decay of marbles: an experimental study. American Journal of Environmental Sciences 2007, 3(3): 143-150.
- [24] Grossi C. M., Esbert R. M., Díaz-Pache F., Alonso F. J. Soiling of building stones in urban environments. Building and Environment, 2003 38(1): 147-159.
- [25] Chew M. L. Y., Tan P. P. Facade staining arising from design features. Construction and Building Materials 2003, 17(3): 181-187.
- [26] Warscheid Th., Braams J. Biodeterioration of stone: a review. International Biodeterioration & Biodegradation 2000, 46(4): 343-368.
- [27] Brito, J. Desenvolvimento de um sistema de gestão de obras de arte em betão. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil no Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 1992.
- [28] Silvestre J. D. Sistema de apoio à inspecção e diagnóstico de anomalias em revestimentos cerâmicos aderentes. Dissertação de Mestrado em Construção no Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2005.
- [29] Walter A. M., Sistema de classificação para inspecção de impermeabilizações de coberturas em terraço. Dissertação de Mestrado em Construção no Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2002.
- [30] Garcia J. M. Sistema de inspecção e diagnóstico de revestimentos epóxicos de pisos industriais. Dissertação de Mestrado em Construção no Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2006.

ANEXO

Tabela 1 - Classificação das anomalias em RPN [11]

LOCALIZAÇÃO	GRUPOS	SUB-GRUPOS	DESCRIÇÃO DA MANIFESTAÇÃO
Placa pétrea	A-A	A-A1	Mancha ou diferença de tonalidade
	Alteração cromática	A-A2	Alteração cromática periférica
	A-F	A-F1	Fracturação
	Fracturação ou fissuração	A-F2	Fissuração
	A-B	A-B1	Colonização biológica
	Presença de elementos biológicos ou outros	A-B2	Vegetação
		A-B3	Outros materiais
	A-P	A-P1	Diminuição volumétrica do material pétreo (destaque laminar, desgaste, desagregação granular, pulverização picadura, alveolização)
	Perda, alteração volumétrica ou deterioração do material pétreo	A-P2	Alteração ou deposição (depósito superficial, eflorescência, película, concreção, incrustação e crosta)
Sistema de revestimento		A-P3	Lacuna parcial do elemento pétreo
	A-DE	A-DE1	Descolamento do elemento pétreo (parcial ou total)
	Descolamento ou desprendimento da placa pétrea	A-DE2	Desprendimento do elemento pétreo (parcial ou total)
		A-DE3	Deficiências de planeza na superfície do revestimento
	A-JU	A-JU1	Degradação ou perda do material de refechamento das juntas (parcial ou total)
	Anomalias nas juntas	A-JU2	Ausência de linearidade ou dimensões adequadas nas juntas
		A-JU3	Fendilhação ou fractura dos elementos pétreos na proximidade das juntas
	A-Fi	A-Fi1	Lascagem do material pétreo nas zonas de orifícios de fixação e/ou corrosão dos elementos metálicos de fixação
	Anomalias nos elementos de fixação	A-Fi2	Flexão e rotura dos elementos metálicos de fixação

Tabela 2 - Classificação proposta das causas das anomalias em RPN [11]

Erros de projecto (C-P)	C-P1	Prescrição de materiais com características inadequadas, incompatíveis ou omissas
	C-P2	Inexistente / desaconselhada / deficiente indicação do sistema de fixação
	C-P3	Concepção inadequada ao contacto com o solo
	C-P4	Estereotomia não adequada às características do suporte
	C-P5	Existência de zonas de revestimento inacessíveis em operações de limpeza
	C-P6	Deficiente pormenorização construtiva face ao suporte ou em zonas singulares
	C-P7	Excessivas deformações do suporte
	C-P8	Inadequado dimensionamento das juntas do revestimento pétreo
	C-P9	Inexistente / inadequada drenagem do revestimento
Erros de execução (C-E)	C-E1	Utilização de materiais que não sejam os estabelecidos em projecto
	C-E2	Desrespeito pelos tempos de espera entre fases de execução
	C-E3	Uso inadequado dos materiais
	C-E4	Aplicação em suportes irregulares ou deficiências de fixação
	C-E5	Aplicação em obra de placas fragilizadas ou fissuradas
	C-E6	Desrespeito pelas dimensões previstas para as juntas ou assentamento de placas nas juntas de dilatação do suporte
	C-E7	Desrespeito pela estereotomia das placas pétreas
Acções de origem mecânica exterior (C-M)	C-M1	Concentração de tensões no suporte (por dilatação, flexão, retracção ou assentamento)
	C-M2	Movimentos de natureza estrutural de paredes e fundações
	C-M3	Vandalismo
	C-M4	Choques acidentais
	C-M5	Fraccionamento do suporte em juntas de dilatação, periféricas ou entre elementos de pedra
	C-M6	Circulação de pessoas ou veículos em pavimentos (tráfego sobre a pedra)
Acções ambientais (C-A)	C-A1	Ciclos molhagem - secagem, acção da água, acção de agentes químicos dos materiais do solo
	C-A2	Choque térmico, temperatura, incêndio
	C-A3	Ciclos gelo - degelo
	C-A4	Corrosão de elementos metálicos de fixação
	C-A5	Contaminação atmosférica
	C-A6	Acção biológica ou química (através de organismos vivos)
	C-A7	Acumulação de sujidade ou partículas sólidas
	C-A8	Vento
	C-A9	Envelhecimento natural
Falhas de manutenção (C-F)	C-F1	Limpeza inadequada ou ausência de limpeza do revestimento
	C-F2	Ausência de manutenção das juntas
	C-F3	Falta de substituição em tempo de elementos de fixação corroídos ou deteriorados
Alteração das condições inicialmente previstas (C-I)	C-I1	Cargas excessivas em pavimentos
	C-I2	Aplicação de cargas verticais excessivas em revestimentos pétreos de paredes