

# **Sistema de apoio à inspecção e diagnóstico de anomalias em Revestimentos em Pedra Natural (RPN)**

## **Inspection and anomaly diagnosis support system for Natural Stone Cladding (NSC)**

**Natália Neto<sup>1</sup>, Jorge de Brito<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Eng.<sup>a</sup> Civil, Mestre em Engenharia Civil (IST)  
natalia\_net@yahoo.com*

*<sup>2</sup>Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa  
jb@civil.ist.utl.pt*

**RESUMO:** Este artigo propõe um sistema de apoio à inspecção e diagnóstico de revestimentos em pedra natural (RPN) de paredes e pavimentos, de forma a sistematizar e objectivar inspecções a este tipo de revestimento. A inclusão deste sistema num plano de manutenção visa a actuação ao nível da prevenção da degradação destes revestimentos e do seu suporte. A construção deste sistema baseia-se, numa primeira fase, na identificação e classificação de anomalias e causas prováveis associadas a RPN, sendo estes dados fundamento para a construção das matrizes de correlação anomalias - causas e inter-anomalias e de fichas de anomalias com informação relevante relacionada com as mesmas. Seguidamente, são identificados e classificados os métodos de diagnóstico e as técnicas de reparação adequadas em casos de anomalias em RPN, sendo construídas matrizes de correlação destas com os referidos métodos e técnicas, tendo sido elaboradas fichas individuais que incluem informação relativa a ambos. O sistema proposto foi validado através da realização de 128 inspecções em RPN, as quais foram alvo de tratamento estatístico e análise.

**ABSTRACT:** An inspection and diagnosis support system is proposed for natural stone cladding (NSC) in walls and pavements, in order to systemize inspections in this type of cladding and make them objective. The inclusion of this system in a maintenance plan aims at acting in preventing degradation of these claddings and their substrate. The creation of the system is based initially on the identification and classification of anomalies and probable causes associated with NSC. These data fundament the assembly of correlation matrices anomalies/probable causes and anomalies/anomalies and of anomaly forms with relevant data concerning each defect. Then the diagnosis and repair methods adequate for NSC anomalies are identified and classified and correlation matrices anomalies/diagnosis methods and anomalies/repair methods are assembled. For each diagnosis and repair method an individual form with relevant data is also created. The system proposed was validated through 128 inspections of NSC, later on subjected to statistical post-treatment and analysis.

### **1 INTRODUÇÃO**

Os revestimentos das superfícies de edifícios (pavimentos, paredes e outras) são elementos construtivos que, além de proteger o património edificado, o valorizam, por serem a face mais visível do edificado. Mais especificamente, o revestimento em pedra natural (RPN) está associado no mercado da construção a um material de revestimento versátil, sendo um produto natural

nobre de elevada qualidade e uma boa solução técnica e estética. Esta solução oferece às superfícies em que é aplicada características de isolamento, resistência, durabilidade, higiene e ampla riqueza estética.

Em fase de projecto, a selecção de um tipo de pedra, o seu acabamento e a sua aplicação deve ter em conta as propriedades físicas e mecânicas apropriadas à utilização pretendida, à tecnologia disponível, ao meio ambiente em que será inserida

e à vida útil prevista [1] [2] [3]. A aplicação rigorosa do revestimento e uma manutenção cuidada são igualmente importantes para obter um bom desempenho deste tipo de revestimento. De facto, antes de proceder a trabalhos de conservação e manutenção, é aconselhável caracterizar os materiais a utilizar na pedra, já que a utilização de produtos inadequados poderá activar mecanismos de degradação indesejáveis da pedra [4].

Apesar do rápido crescimento do conhecimento científico e tecnológico, assiste-se frequentemente ao aparecimento precoce de anomalias, comprometendo as suas funções de revestimento e podendo inclusivamente pôr em causa a segurança de pessoas e bens. O condicionamento do desempenho deste tipo de revestimentos decorre muitas vezes da não observância de critérios de selecção, controlo e conhecimento dos materiais, sendo estes facilmente relegados relativamente a prazos ou factores económicos.

A reparação destas situações anómalas acarreta frequentemente riscos e elevados custos, como é largamente documentado por diversos autores [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12]. Relativamente ao caso do edifício Amoco em Chicago onde, 14 anos após a sua construção, foi necessário substituir o seu revestimento em placas de mármore por granito com um custo equivalente a 75% da construção do edifício. Outros edifícios famosos foram objecto de substituição de painéis de revestimento de mármore, tais como o Finlândia City Hall em Helsínquia e La Grande Arche em Paris.

Na sequência destas situações, que têm vindo a ocorrer em diversos países, e com vista à sua prevenção, foram realizados diversos projectos a nível europeu, com o objectivo de estudar a durabilidade da pedra neste tipo de revestimentos, e recuperar a confiança da sua utilização, como o TEAM EC Project relativo ao teste e avaliação das propriedades que influenciam a durabilidade do mármore e da pedra calcária como material de revestimento exterior, tendo sido estudados cerca de 200 edifícios em diversas zonas geográficas [13].

Neste contexto, torna-se necessário criar ferramentas que possam ser utilizadas por todos os agentes envolvidos nas diversas fases e níveis desta actividade, com vista à sua integração de forma rotineira num sistema de gestão de edifícios (manutenção, conservação e reabilitação). De facto, segundo Shohet et. al. [14], que cita diversos

autores [15] [16] [17] [18] [19] [20], existe uma consciencialização mundial crescente da importância da manutenção das instalações construídas.

A literatura existente nesta área é maioritariamente relacionada com estudos muito específicos, que se referem a características de determinado tipo de pedra e/ou determinado mecanismo de deterioração ou anomalia, de que são exemplos Simmons e Richter [21], Sahlin et al. [22], Siegesmund et al. [23] Brimblecombe e Grossi [24], Marini e Bellopede [25], Chau e Shao [11], Amaral et al. [26], Gaylarde e Gaylarde [27] e Cardania e Meda [28]. Outros estudos analisam o comportamento da pedra com determinado tipo de acabamento face ao envelhecimento [4], a patologia de um imóvel específico [29], os métodos de diagnóstico [30] [31] [32] ou a técnicas de reparação (preventivas, curativas ou de manutenção) para uma dada anomalia [33] [34]. De entre estes estudos, alguns referem-se a anomalias em alvenaria de pedra específicas de edifícios históricos.

No âmbito de uma dissertação de Mestrado em Construção, foi criado um sistema de inspecção e diagnóstico em revestimentos em pedra natural, inovador nesta área e descrito neste artigo, que permite para este tipo de revestimentos, sistematizar e objectivar as inspecções e diagnóstico prévios à prescrição de intervenções adequadas para a reparação das anomalias e eliminação das suas causas.

## **2 SISTEMA DE INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO EM RPN**

O sistema de inspecção e diagnóstico proposto (Fig. 1) tem como suporte um sistema em que são identificadas e classificadas as anomalias, as causas prováveis para o seu aparecimento, os métodos de diagnóstico e as técnicas de reparação. Através de índices de correlação adequados, foram construídas matrizes que correlacionam anomalias com causas, anomalias com métodos de diagnóstico, anomalias com técnicas de reparação e anomalias entre si. Estas matrizes, conjuntamente com fichas de anomalias, fichas dos métodos de diagnóstico e fichas das técnicas de reparação, constituem uma ferramenta carácter sistemático que foi validada numa campanha de inspecções a 128 RPN, e que auxilia trabalhos de inspecção neste tipo de revestimento de forma integrada

numa estratégia de manutenção. Esta sistematização objectiva dos procedimentos da inspecção e diagnóstico mostra-se bastante útil não só em revestimentos em pedra natural, mas também já foi provado ser vantajoso noutros elementos de construção [35] [36] [37] [38] [39].

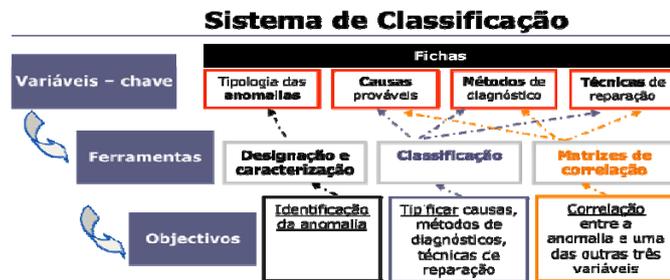


Fig. 1 - Módulo classificativo

### 3 ANOMALIAS

Para construir o sistema de classificação das anomalias em revestimentos em pedra natural, estas foram agrupadas em 7 grupos. Nestes, que se dividem em 18 subgrupos, distinguem-se 4 grupos onde se incluem as anomalias localizadas na placa de revestimento (A-A, A-F, A-B e A-P), isto é, referentes à pedra em si e à alteração das suas características; e três grupos (A-DE, A-JU e A-Fi) referentes a anomalias observadas em elementos do sistema de revestimento (juntas e em elementos/sistema de fixação). O primeiro passo neste sistema, é a identificação das anomalias. Esta é feita após observação visual imediata e directa no local da inspecção, confrontando o observado com a Tabela 1, que representa os grupos e subgrupos de anomalias que estão incluídos na classificação de anomalias proposta.

Embora se constate que muitas vezes as formas de alteração não aparecem isoladamente, optou-se, por simplificação, pela designação de anomalias que ocorrem individualmente, podendo, caso necessário, proceder-se à sua composição e consequente análise de causas.

Na Fig. 2, mostram-se exemplos das anomalias referenciadas na Tabela 1.



Fig. 2 - Exemplos de anomalias

### 4 Causas prováveis

Os factores conducentes à existência de anomalias podem ter diversas origens (intrínseca, extrínseca ou imposta), em diferentes fases. A proposta de uma classificação dessas causas, tem como objectivo a análise dessas anomalias contribuindo para a melhoria da qualidade da construção. Na classificação proposta (Tabela 2), as causas prováveis das anomalias foram seriadas com ordem cronológica, pelo que a lista se inicia pelos erros de projecto, seguindo-se os erros de execução, acções de origem mecânica exterior, acções ambientais, falhas de manutenção e, por último, alteração às condições inicialmente previstas.

#### 4.1 Erros de projecto

Apesar de ser a fase de concepção da solução de revestimento a ocasião em que é oportuna a optimização económica e técnica pelos diversos intervenientes, esta é muitas das vezes menosprezada, sendo um dos factores que mais contribui para o aparecimento de patologia em obra. As omissões nos cadernos de encargos também acabam por contribuir, nesta fase, para resultados finais anómalos e patologias não desejáveis ou mesmo graves. Para esta situação contribui falta de formação dos projectistas ou falta de elementos relativos à concepção da solução a adoptar para o RPN, sendo tomadas opções inadequadas aquando da construção, conduzindo ao aparecimento de anomalias já em fase de exploração da obra, que poderiam ter sido evitadas se a fase de concepção se tivesse revestido do detalhe necessário. O estudo de Vázquez [41] refere que a fendilhação e a absorção de água da envolvente de um edifício foram menos intensas em pedras com orientação cristalográfica definida, o que exemplifica como poderão ser minimizadas certas anomalias se forem tidos em conta, em fase precoce, determinadas características das placas pétreas.

As formas arquitectónicas do edifício e o seu revestimento poderão também contribuir para a formação de caminhos de escorrência preferenciais para a água ao longo do paramento, fomentando o aparecimento de anomalias. Chew e Tan [42] ilustram como o aparecimento de manchas pode ser minimizado ou impedido ainda em fase de

projecto, em articulação com a equipa actuante em fase de execução e depois na fase de manutenção.

Apesar de tudo, os erros relativos à concepção são os mais fáceis de analisar, através da sua detecção através da examinação das peças escritas e desenhadas, recriando cronologicamente a execução do projecto.

#### 4.2 Erros de execução

Ao contrário dos erros de projecto, a análise dos erros de execução encontra-se dificultada pela ausência de registos, ou devido à relação causa - efeito não imediata, podendo levar anos até à manifestação da patologia. Para a má execução contribui a existência de mão-de-obra muitas vezes mal preparada, assim como a falta de formação específica para a aplicação de novos materiais e tecnologias.

#### 4.3 Acções de origem mecânica exterior

As acções de origem mecânica exterior agrupam um conjunto de causas difíceis de prever ou evitar, pelo que será em fase de projecto que se poderá tentar prevenir ou minimizar, através da especificação das características de resistência e desempenhos exigíveis e expectáveis relativamente ao RPN a colocar. Como exemplo de anomalias susceptíveis de serem desencadeadas pelas causas deste grupo referem-se as anomalias do grupo A-F, a fractura e fissuração.

#### 4.4 Acções ambientais

A deterioração da pedra é influenciada por factores climáticos [12]. As causas das anomalias relacionadas com as acções ambientais originam a deterioração do aspecto e/ou estrutura da pedra natural. Pedras de diferentes características poderão ter resistências muito diferentes a acções ambientais como por exemplo relativamente à agressão térmica, conforme se verifica para o caso específico do edifício revestido a mármore que foi objecto de estudo de Royer-Carfagni [29]. Exemplifica-se que a acção de agentes ambientais, naturais ou artificiais, sobre as placas pétreas, provoca aumento de pressão nos poros e fissuras da pedra, podendo conduzir à desagregação da mesma. No caso do mármore, e decorrendo de um estudo [13], os principais parâmetros que influenciam são a expansão térmica em condições

de humidade e a microestrutura da mármore.

#### 4.5 Falhas de manutenção

A má utilização, inadequados processos e produtos empregados na limpeza, e até actos de vandalismo, poderão causar anomalias como a deterioração da placa pétreas ou o aparecimento de manchas.

A obtenção de durabilidade num sistema de revestimento carece de manutenção regular preventiva para a detecção precoce de anomalias e adequada resolução. No estudo de Grossi et al. [43], mediante a definição de coeficientes relacionados com a sujidade, poderá ser possível determinar os intervalos de tempo em que a limpeza é necessária.

#### 4.6 Alteração das condições inicialmente previstas

As causas relativas à alteração das condições inicialmente previstas dizem respeito ao uso inadequado dos revestimentos tais como repetida alteração aos usos, tipo ou intensidade das cargas aplicadas definidos inicialmente, a utilização de cargas excessivas em pavimentos ou a aplicação de cargas verticais excessivas que podem promover o desgaste, fractura ou outras anomalias.

### 5 MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

É aqui proposta uma selecção de métodos de diagnóstico (Fig. 3) adequada e adaptada à realidade da inspecção que se pretende realizar *in situ* em RPN de paredes e pisos com as suas diversas formas de fixação. A Tabela 3 lista os métodos de diagnóstico *in situ* seleccionados para o sistema classificativo, que são na sua maioria ensaios não destrutivos, apoiados pela utilização de equipamento portátil a realizar no local de onde foi aplicado o RPN.



Fig. 3 - Execução do ensaio *pull-off* (M-F1) [44]

Nessa tabela, estão agrupadas as famílias de técnicas, de acordo com o seu tipo e equipamento

associado, sendo identificadas com siglas que irão ser usadas na matriz de correlação (M-V: análise visual assistida; M-C: técnicas de cor; M-U: técnicas ultra-sónicas; M-T: métodos térmicos; M-A: técnicas acústicas; M-F: técnicas de força; M-H: métodos de humidade). Os ensaios listados encontram-se caracterizados nas respectivas fichas de ensaios e uma delas, M-F1, é descrita mais adiante neste artigo. Além de contribuírem para a averiguação e caracterização das anomalias, alguns dos ensaios aqui listados podem ser utilizados para verificar a eficiência das soluções de reparação realizadas. Por exemplo, como é descrito em Warscheid e Braams [45], caso se comprove a existência de impactes de biodegradação relevantes (para o que os métodos de diagnóstico são uma importante ferramenta), os possíveis efeitos de contaminação microbiana nos procedimentos de limpeza, tratamentos de protecção ou aplicações de biocidas deverão ser tidos em conta.

## 6 TÉCNICAS DE REPARAÇÃO

Além dos trabalhos de manutenção (m) a realizar, as intervenções de reparação de anomalias em RPN podem ser de natureza preventiva (rp) ou curativa (rc). As primeiras correspondem a disposições construtivas e de projecto apropriadas que possibilitam evitar o aparecimento ou reaparecimento das anomalias, eliminando as suas causas, enquanto que as segundas pretendem ser soluções que eliminem as anomalias. Estas últimas, constituem as medidas correctivas mais eficazes, necessitando, contudo, de ser complementadas com outras medidas, visando a eliminação das próprias anomalias ou a substituição dos elementos e materiais deficientes. As intervenções do tipo preventivo são as que merecem ser objecto de investimento, dado que reduzem significativamente a necessidade de intervenções de índole correctivo que se tornam, muitas das vezes demasiado dispendiosas neste tipo de revestimentos.

Algumas das técnicas aqui apresentadas podem funcionar como técnicas de correcção (rc) de anomalias ou como preventivas (rp), sendo indicado na tabela esse facto entre parêntesis. Por outro lado, uma reparação local (rc ou rp) poderá ser precedida de uma limpeza que é um trabalho de manutenção (m).

As técnicas de reparação consideradas foram

aqui divididas em seis grupos que identificam as intervenções relativas e elementos distintos e constituintes do revestimento pétreo (R-P - superfície do revestimento pétreo (placa pétrea); R-A - material de assentamento / ancoragem (fixação); R-J - junta), ao suporte onde o revestimento está aplicado (R-S - suporte), à totalidade dos elementos constituintes do revestimento (R-R - revestimento pétreo) ou à sua envolvente (R-E - envolvente). É exposta na Tabela 4 a compilação das técnicas de reparação de anomalias em RPN que se consideram mais importantes e abrangentes. A Fig. 4 exhibe a técnica R-P2, relativa a acção de limpeza com jacto de água sobre pressão na fachada de um edifício habitacional. Na técnica R-P3 (aplicação de um protector de superfície), poderá ser incluído um tratamento com um hidrófugo: por exemplo no caso dos revestimentos em mármore já existentes, a sua aplicação poderá inibir ou diminuir a sua degradação (como foi concluído em [13]).



Fig. 4 - Limpeza do revestimento pétreo com jacto de água sobre pressão (técnica R-P2)

## 7 MATRIZES DE CORRELAÇÃO

As matrizes de correlação construídas relacionam as principais anomalias associadas aos RPN e causas correspondentes, de forma a facilitar ao inspector o diagnóstico a efectuar no local de ocorrência da anomalia. As matrizes de correlação construídas são a matriz anomalias - causas prováveis e matriz inter-anomalias. Posteriormente, apresentam-se a matriz de correlação entre as anomalias e as correspondentes técnicas de diagnóstico e a matriz de correlação entre as anomalias e as técnicas de reparação mais apropriadas. A elaboração destas matrizes teve como base os trabalhos já realizados por outros autores [46] [47] [48] [49]. As matrizes aqui apresentadas foram sujeitas a validação em inspecções, auxiliando na selecção dos métodos de diagnóstico e técnicas de reparação mais adequadas face a anomalias.

### 7.1 Matriz de correlação anomalias - causas prováveis

Para construir a matriz de correlação anomalias - causas prováveis foram distinguidas as causas prováveis de ocorrência de anomalias em causas directas (próximas) e causas indirectas (primeiras). As causas directas (próximas) são as que originam imediatamente as anomalias (acções naturais - físicas, químicas ou biológicas, desastres naturais ou de natureza humana), sendo diferenciadas por poderem ser eliminadas através de adequadas soluções de reparação. A Tabela 5 exhibe essa matriz, onde as anomalias correspondem às linhas e as causas correspondem às colunas.

O preenchimento da intersecção de cada linha com cada coluna está preenchido com 0, 1 ou 2 de acordo com o seguinte significado:

- 0 - sem relação: não existe qualquer correlação directa entre a anomalia e a causa;
- 1 - pequena relação: causa indirecta (primeira) da anomalia relacionada com o despoletar do processo de deterioração; causa não necessária para o desenvolvimento do processo de deterioração, embora agrave os seus efeitos;
- 2 - grande relação: causa directa (próxima) da anomalia, associada à fase final do processo de deterioração; quando a causa ocorre, constitui uma das razões principais do processo de deterioração e é indispensável ao seu desenvolvimento.

Como exemplo prático da utilidade prática desta tabela, exemplifica-se para a causa C-A1 (definida na classificação proposta como “ciclos molhagem - secagem, acção da água, acção de agentes químicos dos materiais do solo”), em que esta poderá ser causa indirecta da anomalia A-F2 (fissuração). Num caso concreto, Silva et al. [50] relatam que as características do granito utilizado no revestimento com uma idade recente localizado no exterior de um edifício, conjuntamente com a humidade permanente e o sombreamento de algumas áreas mais baixas e protegidas revestidas, potenciaram a presença de colonização biológica, reduzindo a sua resistência mecânica e tornando as placas pétreas mais susceptíveis à ruptura.

### 7.2 Matriz de correlação inter-anomalias

A matriz inter-anomalias surge devido à possibilidade de as anomalias em RPN poderem ocorrer não só isoladamente, mas também

associadas a outras anomalias. De facto, esta matriz, representada na Tabela 6, utiliza um índice de correlação entre anomalias cujo objectivo é determinar probabilidades de ocorrência de outras anomalias quando uma delas se manifesta. Esse índice é obtido com base na matriz de correlação anomalias - causas prováveis, e estima a probabilidade de ocorrência da anomalia j (coluna j) quando a anomalia k (linha k) ocorre.

### 7.3 Matriz de correlação anomalias - métodos de diagnóstico

Para correlacionar as anomalias com os métodos de diagnóstico, foi elaborada a matriz anomalias - métodos de diagnóstico, que é apresentada na Tabela 7. Nessa matriz, cada linha corresponde a uma anomalia, e cada coluna a um método de diagnóstico, onde é atribuído o algarismo 0, 1 ou 2 de acordo com o critério que se segue:

- 0 - sem relação: não existe qualquer correlação directa entre a anomalia e o método de diagnóstico;
- 1 - pequena relação: método de diagnóstico adequado à caracterização de determinada anomalia, embora possua limitações, em termos de execução técnica ou de custo, que reduzem o espectro da sua aplicabilidade;
- 2 - grande relação: método de diagnóstico adequado à caracterização de determinada anomalias, cuja execução é de exigência técnica mínima e cujo equipamento necessário é acessível, tornando o respectivo domínio de aplicação mais abrangente.

Os casos em que são indicados dois ou mais métodos de diagnóstico de grande relação, justificam-se pelo facto de cada um desses métodos corresponder à caracterização de um determinado parâmetro da anomalia em causa, sendo por isso necessário utilizá-los de forma consecutiva de modo a efectivar o diagnóstico pretendido.

### 7.4 Matriz de correlação anomalias - técnicas de reparação

Após a elaboração das matrizes de correlação anteriores, seguem-se os mesmos critérios para a construção da matriz de correlação entre as anomalias e as intervenções mais adequadas ao nível da sua reparação e eliminação das respectivas

causas. Neste caso, a intersecção de cada linha (representando uma anomalia) com cada coluna (que representa uma técnica de reparação) apresenta um número que representa o grau de correlação entre ambas, de acordo com o critério indicado acima.

A matriz apresentada na Tabela 8 reflecte já a análise de aplicabilidade desenvolvida no trabalho de campo, com os ajustamentos necessários. Pela observação dessa matriz, é possível verificar que existem anomalias para as quais são indicadas várias técnicas de reparação. Nesses casos, a opção pela técnica a utilizar terá de ter em consideração que as técnicas de pequena relação só deverão ser utilizadas em situações particulares de manifestação das anomalias, nas quais se verifiquem as condições descritas na respectiva ficha de reparação.

Nas situações em que existem duas ou mais técnicas de grande relação associadas a uma mesma anomalia, estas técnicas poderão complementar-se na reparação da anomalia e na eliminação das respectivas causas ou, caso o resultado expectável de ambas as técnicas seja semelhante, a opção terá de recair naquela que se revele mais adequada em termos técnico-económicos, em cada uma das situações de patologia em causa.

De facto, a selecção do conjunto de técnicas de reparação a utilizar num certo caso não pode ter apenas em consideração os graus de correlação apresentados na Tabela 8, dado que a viabilidade económica de qualquer intervenção é um dos factores mais condicionantes na selecção dos diferentes métodos de reparação. Na realidade, a intervenção de reparação de um RPN pode ser bastante complexa, acarretando custos elevados que podem superar os custos de aplicação inicial do revestimento pétreo (e.g. a necessidade de alugar / montar / desmontar andaimes, materiais ou mão-de-obra são custos directos na reparação). Ao optar por certa intervenção, deve ser realizada uma análise de viabilidade económica da mesma, que inclua a avaliação de parâmetros como a extensão da anomalia, vida útil remanescente estimada do revestimento ou os custos de recuperação em função do valor estimado do revestimento.

## 8 FICHAS

Como referido, foram elaboradas fichas para cada método de diagnóstico, para cada técnica de

reparação e para cada anomalia identificada. O formato e conteúdo destas fichas são baseados em trabalhos anteriores [46] [47] [48] [49].

### 8.1 Fichas dos métodos de diagnóstico

Cada ficha de método de diagnóstico contém informação relativa ao seu objectivo e caracterização, material necessário, condições para a sua realização, vantagens e limitações, procedimento e ilustração. Como exemplo, observe-se a Tabela 9, que mostra a ficha do ensaio de *pull-off* designado por M-F1.

### 8.2 Fichas de reparação

Assim como foi feito para cada método de diagnóstico, foi igualmente elaborada para cada técnica de reparação uma ficha que lhe corresponde. Como se pode observar na Tabela 10, além da descrição da técnica, esta ficha inclui os materiais, mão-de-obra, prazo de execução, custos e equipamento que lhe serão necessários, bem como informação acerca dos resultados expectáveis e problemas de execução aquando da utilização da técnica em causa.

### 8.3 Fichas de anomalias

De modo a facilitar as inspecções, foram elaboradas fichas essenciais para a implementação do sistema. São fichas individuais de anomalias que contemplam, além da sua descrição e aspectos a inspecionar, dados como níveis de gravidade, causas prováveis, consequências possíveis e ensaios a realizar e soluções de reparação adequadas. Essas fichas foram validadas, tornando-se num importante instrumento que condensa a informação essencial relativa à solução das anomalias em RPN de forma evidente e simples. A Tabela 11 exemplifica uma das fichas de anomalias concebidas, o caso da anomalia A-DE1.

## 9 CONCLUSÕES

O sistema aqui apresentado, de classificação das anomalias e causas prováveis, métodos de diagnóstico e técnicas de reparação, abrange a generalidade dos casos possíveis para os RPN. As fichas que foram elaboradas condensam informação essencial relativa à solução das

anomalias em RPN de uma forma evidente e simples, facilitando a inspecção. A construção das matrizes permite ceder informação ao inspector acerca da relação entre as anomalias e métodos de diagnóstico ou de reparação, permitindo um planeamento do diagnóstico e solução para determinada anomalia.

O sistema foi validado com base numa campanha de inspecções que abrangeu 128 RPN onde foi possível obter resultados importantes para a consistência da utilização deste sistema.

A ferramenta apresentada, integrada num plano de manutenção, visa a actuação real ao nível da prevenção da degradação dos RPN e do seu suporte, revelando-se bastante útil para os diversos intervenientes em fases diversas como o projecto, execução e vida útil do revestimento, originando muito provavelmente a obtenção de um edificado com qualidade mais elevada e menos custos associados.

## REFERÊNCIAS

- [1] Pinto A. R., Alho A. A., Moura A. A., Henriques A. E., Carvalho C. P., Ramos J. F., Almeida N. C., Mestre V. Manual da pedra natural para a arquitectura, ed. Direcção Geral de Geologia e Energia, Lisboa, 2006.
- [2] Casal Moura A., Martins O. R. Catálogo das rochas ornamentais portuguesas, ed. Instituto Geológico Mineiro, Porto, 1983.
- [3] Casal Moura A., Grade J, Ramos J. F., Moreira A. D. Granitos e Rochas Similares de Portugal, ed. Instituto Geológico Mineiro, Porto, 2000.
- [4] Urosevic M., Sebastián-Pardo E., Cardell C. Rough and polished travertine building stone decay evaluated by a marine aerosol ageing test. *Construction and Building Materials*, 2010, 24(8): 1438-1448.
- [5] Trewhitt J., Tuchmann J. Amoco may replace marble on Chicago headquarters, *Engineering News Record*, 1988, pp. 11-12.
- [6] Ridout G. Losing its marble, *Building*, April 28, 1989, 17: 61-61.
- [7] Kent C. Skin graft for Amoco building. *Progressive Architecture*, 1990, 71(10): 23-23.
- [8] Logan J. M., Hadedt M., Lehenert D., Denton M. A case study of the properties of marble as building veneer. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanics*, 1993, 30(7): 15310-1537.
- [9] Hook G. Look out below - The Amoco buildings cladding failure: what went wrong, how it was fixed and the implications for thin-stone veneers. *Progressive Architecture*, 1994, 75(2): 58-61.
- [10] Rudnicki J. W. Geomechanics, *International Journal of Solids and Structures*, 2000, 37(1-2): 349-358.
- [11] Chau K. T, Shao J. F. Subcritical crack growth of edge and center cracks in façade rock panels subject to periodic surface temperature variations. *International Journal of Solids Structures*, 2006; 43(3-4): 807-827.
- [12] 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.
- [13] TEAM EC Project. Final report testing and assessment of marble and limestone (GRD1-1999-10735); 2005.
- [14] Shohet I. M., Puterman M., Gilboa E. 'Deterioration patterns of building cladding components for maintenance management', *Construction Management and Economics*, 2002, 20(4): 305-314.
- [15] Bourke K., Davies H. Factors affecting the service life prediction of buildings: A discussion paper, Laboratory Report, Building Research Establishment, Garston, UK, 1997.
- [16] Cash C.G. The relative durability of low-slope roofing. *Fourth International Symposium on Roofing Technology*, Rosemont, IL, 1997.
- [17] Horner, R.M.W., El-Haram, M.A. and Munns, A.K. Building maintenance strategy: a new management approach (*in Portuguese*). *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1997, 3(4): 273-80.
- [18] Cane D., Morrison A., Ireland C. J. Maintenance and service costs of commercial building ground- source heat pump systems. *ASHRAE Transactions*, 1998, 104 (2): 699-706.
- [19] Van Winden C., Dekker R. Rationalization of building maintenance by Markov decision models: a pilot case study. *Journal of the Operational Research Society*, 1998, 49(9): 928-35.
- [20] Underwood J., Alshawi M. An integrated application for forecasting building element maintenance. *International Journal of Computer-Integrated Design and Construction*, 1999, 1(1): 39-48.
- [21] Simmons G., Richter D. Cracks in building stone. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 1993, 30(7): 1553-1557.
- [22] Sahlin T., Malaga-Starzec K., Stigh J., Schouenborg B. Physical properties and durability of fresh and impregnated Limestone

- and Sandstone from central Sweden used for thin stone flooring and cladding. 9<sup>th</sup> International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 2000, Pages 181-186.
- [23] Siegesmund S., Ullemeyer K., Weiss T., Tschegg E. K. Physical weathering of marbles caused by anisotropic thermal expansion. *International Journal of Earth Sciences*, 2000, 89(1): 170-182.
- [24] Brimblecombe P., Grossi C. M. Aesthetic thresholds and blackening of stone buildings. *Science of the Total Environment*, 2005 349(1-3): 175-189.
- [25] Marini P., Bellopede R. Bowing of marble slabs: Evolution and correlation with mechanical decay, *Construction and Building Materials*, 2009, 23(7): 2599-2605.
- [26] Amaral P. M., Guerra Rosa L., Cruz Fernandes J. Assessment of fracture toughness in ornamental stones. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2008, 45(4): 554-563.
- [27] Gaylarde C. C., Gaylarde P. M. A comparative study of the major microbial biomass of biofilms on exteriors of buildings in Europe and Latin America. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2005, 55(2): 131-139.
- [28] Cardania G., Meda A. Marble behaviour under monotonic and cyclic loading in tension. *Construction and Building Materials*, 2004, 18(6): 419-424.
- [29] Royer-Carfagni G. Some considerations on the warping of marble facades: the example of Alvar Aalto's Finland Hall in Helsinki. *Construction and Building Materials*, 1999, 13(8): 449-457.
- [30] Weiss T., Rasolofosaon P. N. J., Siegesmund S. Ultrasonic wave velocities as a diagnostic tool for the quality assessment of marble. *Geological Society, London, Special Publications*, 2002, 205: 149-164.
- [31] Mauko A., Muck T., Mirtić B., Mladenović A., Kreft M. Use of confocal laser scanning microscopy (CLSM) for the characterization of porosity in marble. *Materials Characterization*, 2009, 60(7): 603-609.
- [32] Fais S., Casula G. Application of acoustic techniques in the evaluation of heterogeneous building materials. *NDT & E International*, 2010, 43(2): 62-69.
- [33] Young M. E., Urquhart D. C. M., Laing, R. A. Maintenance and repair issues for stone cleaned sandstone and granite building façades. *Building and Environment*, 2003, 38(9-10) 1125-1131.
- [34] Pires V., Silva Z. S. G., Simão J. A. R., Galhano C., Amaral P. M. "Bianco di Asiago" limestone pavement - Degradation and alteration study. *Construction and Building Materials*, 2010, 24(5): 686-694.
- [35] Branco F., de Brito J. Handbook of concrete bridge management, ASCE Press, Reston - VA, USA, 468 p.
- [36] Garcia J., de Brito J. Inspection and diagnosis of epoxy resin industrial floor coatings. *Journal of Materials in Civil Engineering* 2008; ASCE, 20 (2): 128-136.
- [37] Silvestre J. D., de Brito J. (2009) Ceramic tiling inspection system. *Construction and Building Materials*, 2009; 23 (2): 653-668.
- [38] Walter A., de Brito J., Grandão Lopes J. Current flat roof bituminous membranes waterproofing systems - inspection, diagnosis and pathology classification, *Construction and Building Materials*, 2005; 19 (3): 233-242.
- [39] Gaião, C., de Brito J., Silvestre J. D. Inspection and diagnosis of gypsum plasterboard walls. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, aceite para publicação em 2010.
- [40] Neto, Natália M. L. Sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos em pedra natural. *Dissertação de Mestrado*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2008, 195 p.
- [41] Vázquez P., Alonso F. J., Eibert R. M., Ordaz J. Ornamental granites: Relationships between p-waves velocity, water capillary absorption and the crack network. *Construction and Building Materials*, 2010, 24(12): 2536-2541.
- [42] Chew M. L. Y., Tan P. P. Facade staining arising from design features. *Construction and Building Materials*, 2003, 17(3): 181-187.
- [43] Grossi C. M., Eibert R. M., Díaz-Pache F., Alonso F. J. Soiling of building stones in urban environments. *Building and Environment*, 2003, 38(1): 147-159.
- [44] Rodrigues, F.; Varum H.; Velosa, A.; Vicente, R. Inspection and evaluation of the adherence of stone cladding in façades - Case study (*in Portuguese*). 2<sup>nd</sup> Meeting on Pathology and Rehabilitation of Buildings, FEUP, Porto, Portugal, 2006, pp. 487-496.
- [45] Warscheid Th., Braams J. Biodeterioration of stone: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2000, 46(4): 343-368.
- [46] Brito, Jorge de Desenvolvimento de um sistema de gestão de obras de arte em betão, *Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Outubro de 1992.
- [47] Walter, A. M., Sistema de classificação para inspeção de impermeabilizações de coberturas

- em terraço. Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2002.
- [48] Silvestre J.D. Sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos cerâmicos aderentes. Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2005.
- [49] Garcia J. M., Diagnóstico, patologia e reabilitação de revestimentos de pisos. Reabilitação não-estrutural de edifícios, Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2006.
- [50] Silva, B. Prieto, B. Rivas, T. Sanchez-Biezma, M.J. Paz, G. Carballal R. Rapid biological colonization of a granitic building by lichens. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 1997, 40(2-4): 263-267.

## ANEXO

Tabela 1 - Classificação de anomalias em RPN [40]

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

Tabela 2 - Classificação proposta das causas das anomalias em RPN [40]

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
Acções de origem mecânica exterior (C-M)	C-E7	Desrespeito pela estereotomia das placas pétreas
	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
Acções ambientais (C-A)	C-M6	Circulação de pessoas ou veículos em pavimentos (tráfego sobre a pedra)
	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
Falhas de manutenção (C-F)	C-A9	Envelhecimento natural
	C-F1	Limpeza inadequada ou ausência de limpeza do revestimento
	C-F2	Ausência de manutenção das juntas
Alteração das condições inicialmente previstas (C-I)	C-F3	Falta de substituição em tempo de elementos de fixação corroídos ou deteriorados
	C-I1	Cargas excessivas em pavimentos
	C-I2	Aplicação de cargas verticais excessivas em revestimentos pétreos de paredes



Tabela 6 - Matriz de correlação inter-anomalias (percentual) [40]

C/A	A-A1	A-A2	A-F1	A-F2	A-B1	A-B2	A-B3	A-P1	A-P2	A-P3	A-DE1	A-DE2	A-DE3	A-JU1	A-JU2	A-JU3	A-Fi1	A-Fi2
A-A1	-	14%	20%	33%	22%	16%	23%	22%	45%	13%	25%	41%	11%	30%	3%	13%	25%	14%
A-A2	56%	-	31%	56%	38%	19%	0%	31%	50%	19%	56%	56%	31%	50%	6%	25%	44%	19%
A-F1	22%	9%	-	78%	5%	2%	0%	9%	14%	26%	29%	38%	26%	7%	12%	41%	14%	14%
A-F2	31%	13%	66%	-	10%	4%	0%	13%	18%	24%	29%	46%	21%	12%	15%	40%	21%	15%
A-B1	78%	33%	17%	39%	-	44%	11%	22%	67%	11%	39%	39%	11%	56%	11%	17%	33%	17%
A-B2	83%	25%	8%	25%	67%	-	8%	17%	67%	8%	25%	25%	8%	58%	8%	8%	33%	17%
A-B3	94%	0%	0%	0%	13%	6%	-	25%	50%	0%	0%	13%	0%	50%	0%	0%	25%	0%
A-P1	64%	23%	23%	41%	18%	9%	18%	-	32%	18%	23%	41%	9%	36%	5%	41%	32%	32%
A-P2	85%	24%	24%	35%	35%	24%	24%	21%	-	15%	35%	41%	15%	47%	3%	9%	29%	9%
A-P3	40%	15%	75%	80%	10%	5%	0%	20%	25%	-	30%	50%	25%	10%	10%	25%	15%	25%
A-DE1	50%	28%	53%	63%	22%	9%	0%	16%	38%	19%	-	56%	38%	22%	13%	34%	25%	16%
A-DE2	57%	20%	48%	67%	15%	7%	4%	20%	30%	22%	39%	-	22%	20%	13%	33%	33%	20%
A-DE3	29%	21%	63%	58%	8%	4%	0%	8%	21%	21%	50%	42%	-	13%	17%	46%	17%	21%
A-JU1	73%	31%	15%	31%	38%	27%	31%	31%	62%	8%	27%	35%	12%	-	4%	19%	35%	8%
A-JU2	14%	7%	50%	71%	14%	7%	0%	7%	7%	14%	29%	43%	29%	7%	-	57%	7%	14%
A-JU3	20%	10%	60%	68%	8%	3%	0%	23%	8%	13%	28%	38%	28%	13%	20%	-	18%	18%
A-Fi1	67%	29%	33%	58%	25%	17%	17%	29%	42%	13%	33%	63%	17%	38%	4%	29%	-	21%
A-Fi2	50%	17%	44%	56%	17%	11%	0%	39%	17%	28%	28%	50%	28%	11%	11%	39%	28%	-

Tabela 7 - Matriz de correlação anomalias - métodos de diagnóstico [40]

A/M	M-V1	M-V2	M-V3	M-V4	M-C1	M-U1	M-T1	M-A1	M-F1	M-H1
A-A1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	1
A-A2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
A-F1	0	2	0	1	0	1	0	1	0	0
A-F2	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0
A-B1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
A-B2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
A-B3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-P1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-P2	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1
A-P3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
A-DE1	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1
A-DE2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
A-DE3	0	0	2	1	0	0	1	2	1	0
A-JU1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-JU2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
A-JU3	0	2	1	1	0	0	0	1	1	0
A-Fi1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
A-Fi2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0

Tabela 8 - Matriz de correlação anomalias - técnicas de reparação [40]

A/M	R-J1	R-J2	R-J3	R-R1	R-R2	R-R3	R-P1	R-P2	R-P3	R-P4	R-A1	R-A2	R-A3	R-S1	R-E1
A-A1	0	0	0	2	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1
A-A2	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
A-F1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
A-F2	0	1	0	2	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0
A-B1	0	0	2	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
A-B2	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-B3	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
A-P1	0	0	0	2	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0
A-P2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-P3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
A-DE1	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0
A-DE2	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
A-DE3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
A-JU1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-JU2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-JU3	0	2	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
A-Fi1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0
A-Fi2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0

Tabela 9 - Ficha de ensaio *pull-off* (M-F1) [40]

<b>Código do ensaio</b>	M-F1
<b>Designação</b>	PULL-OFF
<b>Destrutivo (D) / não destrutivo (ND)</b>	D
<b>Técnica / material necessário</b>	Caroteadora, equipamento hidráulico de arrancamento, cola epóxida, dinamómetro e pastilhas
<b>Necessidades especiais</b>	Acesso total e rastreio em toda a área do revestimento pétreo; ensaio normalizado
<b>Vantagens</b>	Medir a tensão de aderência entre camadas do revestimento pétreo
<b>Limitações</b>	Utilização apenas em revestimento pétreos de fixação directa; é recomendável realizar o ensaio em diversos pontos do revestimento; se a área efectiva de colagem placa - material de assentamento for incerta, ou se a rotura resultar coesiva no material de assentamento ou no suporte, a tensão de aderência obtida pode não ser significativa, necessitando para tal de um elevado número de amostras até se determinar a tensão média de aderência; ensaio destrutivo, influenciando a tensão instalada na periferia da carote
<b>Modo de execução</b>	Carotagem do revestimento pétreo até ao suporte com a forma da peça de aço (disco de 50 mm de diâmetro) a colar; colagem da peça de aço à superfície do ladrilho, com cola epóxida; aplicação de uma força perpendicular ao plano do revestimento pelo equipamento de ensaio acoplado à peça de aço, medida com um dinamómetro; verificação da tensão necessária (N/mm <sup>2</sup> ) para arrancar a placa ou placa + camada de assentamento e comparação com os valores normalizados
<b>Objectivo</b>	Verificar a tensão de aderência suporte - material de regularização - material de assentamento - placa pétreo
<b>Figura ilustrativa</b>	

[44]

Tabela 10 - Ficha de reparação R-J1 [40]

**FICHA DE REPARAÇÃO R-J1****1.ELEMENTO: JUNTAS DO RPN****2.DESIGNAÇÃO:**

Substituição do material de preenchimento das juntas e/ou limpeza das juntas

**3.CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS:**

O material de preenchimento das juntas deve ter capacidade de deformação, de modo a que a fendilhação seja minimizada. Em interiores, é recomendada a utilização de produtos de presa e secagem rápida. O material a usar poderá ser resina epóxida. As juntas elásticas (horizontais ou verticais) devem ser preenchidas com material resiliente.

**4.DESCRICÃO DOS TRABALHOS:**

Remoção do material de preenchimento das juntas degradadas, fissuradas ou dessolidarizadas nas áreas afectadas, através de meios mecânicos. Limpeza do local e preenchimento da junta com novo material adequado à exposição e utilização em causa, consoante instruções do fabricante.

**5.MÃO-DE-OBRA E PRAZO DE EXECUÇÃO ESTIMADO:**

1 pedreiro ou ladrilhador x 1 hora: remoção e colocação de novo material em cerca de 10 m.

**6.EQUIPAMENTO NECESSÁRIO:**

Novo produto a colocar na junta, espátula ou outro equipamento adequado para a aplicação do produto.

**7.CUSTO ESTIMADO<sup>i</sup>:**

15 a 20 €/m (apenas remoção, preparação e colocação do novo material de preenchimento da junta).

**8.RESULTADO EXPECTÁVEL:**

Média exigência técnica.

Eliminação de possíveis causas de anomalias (como por exemplo infiltrações) que existiam, desde que a reparação seja realizada de acordo com as recomendações do fabricante. Eficácia na preservação da durabilidade do revestimento pétreo.

Ao proceder-se à remoção das juntas, deve ter-se cuidado para evitar danos nos elementos de fixação.

O novo material de preenchimento deve ser adequado à porosidade da pedra onde é aplicado.

As juntas merecem especial atenção, dado ser desejável evitar fenómenos de repatologia e consequente progressão de fenómenos anómalos à superfície corrente.

<sup>i</sup> A este valor terá de ser somado o custo associado à utilização de andaimes, quando se efectuam intervenções em fachadas de edifícios.



Tabela 11 - Ficha da anomalia A-DE1 [40]

**FICHA DE ANOMALIA  
A-DE1****DESCOLAMENTO OU DESPRENDIMENTO DA PLACA PÉTREA: descolamento do elemento pétreo (parcial ou total)**

**DESCRIÇÃO:** rotura na zona aderente entre o material de assentamento - suporte ou na interface placa pétrea - material de assentamento, provocando ou não o descolamento da placa pétrea

**CAUSAS PROVÁVEIS:**

- condições ambientais desfavoráveis (C-A1, C-A2)
- deficiências na colocação das placas pétreas (C-P4)
- movimentos ao nível do suporte (C-M1, C-M2)
- inexistência de pingadeiras em parapeitos e coroamentos em fachadas (C-P6, C-A1)
- incorrecto dimensionamento e deficiências na escolha dos materiais ou execução da camada de aderência com deficiências (C-P1, C-P2, C-P3, C-P7, C-E1, C-E2, C-E3, C-E4)

**CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS<sup>i</sup>:**

- descolamento e queda de placas pétreas para a via pública, em fachadas (perigo de danos humanos e materiais)

**ASPECTOS A INSPECCIONAR<sup>ii</sup>:**

- ocorrência de empolamento (S/N)
- degradação do suporte (S/N)
- fendilhação do suporte (S/N)
- área da anomalia em que ocorreu descolamento: (...) m<sup>2</sup>
- percentagem de área de revestimento pétreo afectado: (...) %
- área do tardo da placa pétrea descolada que possui material de assentamento: (...) %

**ENSAIOS A REALIZAR:**

- M-H1 medição de humidade em profundidade
- M-A1 percussão
- M-T1 ensaio termográfico
- M-F1 *pull-off*
- M-U1 ultra-sons

**PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO:**

- altura a que ocorre a anomalia, em fachadas (...) m

**NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO:**

- 0 - descolamento em fachadas sem protecções arquitectónicas
- 1 - restantes casos

**SOLUÇÕES DE REPARAÇÃO:**

- R-R1 Recolocação ou substituição local das placas pétreas (rc)
- R-R3 Redireccionamento de águas pluviais ou reparação de pontos de entrada de água (rp)
- R-A1 Alteração do sistema de fixação das placas pétreas por um sistema mais adequado (rc u rp)

<sup>i</sup> Para além de degradação do aspecto visual, entrada de água da chuva no revestimento pétreo, degradação do material de assentamento e do suporte e aparecimento de eflorescências, em exteriores, infiltrações para o interior do edifício, em fachadas e terraços, empolamento do revestimento pétreo, em pavimentos, e fendilhação do material pétreo, quando descola parcialmente.

<sup>ii</sup> com o eventual auxílio de binóculos, em fachadas.

