

Dos materiais rochosos à conservação da pedra. Entre a investigação e a prática

From rock materials to stone maintenance. Between research and practice

J. Delgado Rodrigues*

RESUMO – Apresentam-se algumas reflexões sobre o estudo de materiais rochosos, cotejando os âmbitos das obras geotécnicas e a temática da conservação da pedra. Salientam-se os aspectos relativos à caracterização dos materiais e à previsão da durabilidade e equaciona-se o significado das superfícies arquitectónicas e as implicações quanto aos métodos e às exigências postas na sua conservação.

SYNOPSIS – The text contains some considerations on the study of rock materials and discusses the aim and processes used in current geotechnical works and in the conservation of architectural surfaces.

* Geólogo, Investigador-
Coordenador do LNEC,
Lisboa, delgado@lnece.pt

Palavras-chave – Materiais rochosos; resistência; durabilidade; património arquitectónico, conservação da pedra; consolidação.

1 - INTRODUÇÃO

Os materiais rochosos têm sido utilizados na construção de obras singelas ou imponentes, como vulgares aterros ou majestosos castelos e palácios, como instrumentos de caça ou defesa ou em objectos de arte desde a mais remota Antiguidade. A construção procura tirar partido da sua resistência e durabilidade, enquanto que as obras de arte se revêem na sua nobreza e tiram partido dos seus inegáveis atributos estéticos. Numa primeira leitura, pouco parece ligar as duas vertentes que o título encerra. Em termos genéricos, a construção é capaz de lidar com todo e qualquer tipo de material rochoso, e todos podem encontrar uma ou outra utilização que lhe está adequada. O aterro pode enquadrar desde a rocha mais branda até ao granito mais duro, mas a fachada arquitectónica necessita de escolher os mais adequados, ainda que tenha de rejeitar uma vasta gama de outros que não lhe calham a favor. A obra de arte apenas utilizará os mais requintados, mas todos os seus utilizadores se podem rever num material com “carácter”, nem sempre de “leitura” imediata, mas sempre único e “personalizado”.

Antes de tudo e qualquer que ele seja, trata-se de um material natural, com uma história geológica longa e por vezes muito complexa, que ocorre em grandes massas, quase sempre de qualidade diversificada, onde o acto de escolher requer conhecimento técnico e científico e tem implicações económicas relevantes. Decidir sobre aceitar/rejeitar e definir onde e como usar são actos de grande relevância técnica e económica onde os conhecimentos científicos da Geologia de Engenharia desempenham papel absolutamente decisivo.

Em Portugal abundam os materiais rochosos, predominando as rochas xistosas e as graníticas, mas onde os mármore ocupam um papel de relevo em termos de produção de rocha ornamental. Com uma pequena cobertura de materiais de alteração, pode dizer-se que, na maior parte do território nacional, é possível encontrar, a pequenas profundidades, materiais rochosos utilizáveis em obras de Engenharia Civil, de acordo, naturalmente, com a qualidade específica disponível em cada local. A sua abundância e diversidade fazem deles um recurso natural de grande valia económica, pelo que o seu estudo tem impacte económico extremamente relevante.

As rochas são entidades evolutivas que se vão adaptando às condições do meio e em que se encontram, através de sucessivos arranjos na sua composição química, na textura e estrutura, na composição mineralógica e, não menos relevante, sofrendo modificações nas suas propriedades físicas e mecânicas à medida que vai progredindo o processo de adaptação. Alteração é o termo genérico usado para traduzir as transformações de qualquer natureza que se

verifiquem nas rochas e que não sejam do domínio da diagénese ou do metamorfismo.

A evolução das rochas no ambiente exógeno processa-se em duas escalas de tempo bem diferenciadas. A do tempo geológico, que é medido na unidade do milhão de anos, e a escala de duração das obras e da vida humana, onde as unidades serão as dezenas ou as centenas de anos. No contexto das obras de engenharia, os aspectos ligados a este conceito de alteração assumem grande significado e são, mesmo, uma importante justificação para a inclusão deste tema nas preocupações da Geologia de Engenharia. O adequado domínio deste conceito e das suas implicações pressupõe um aprofundado conhecimento dos materiais e dos processos de transformação que neles podem ter lugar e requer a capacidade de quantificar as reacções envolvidas e de avaliar as consequências práticas que delas poderão resultar.

No final da década de 50 (1958), foi construída a barragem de Paradela, no Rio Cavado, que, com os seus cerca de 112 m de altura era, ao tempo, uma das mais altas barragens de enrocamento a nível mundial. O desconhecimento, naquela época, do comportamento mecânico dos materiais em obras de enrocamento (os ensaios laboratoriais e a observação de obras só se processaram, com bases científicas, a partir de meados da década de 60) está na base da incapacidade de prever a ocorrência das deteriorações que acabaram por se manifestar 2 anos após a sua construção e poderá justificar a estagnação da tecnologia portuguesa num sector onde esteve à beira de ser pioneira e do qual era de esperar grande incremento, dadas as razões geológicas peculiares do território nacional.

O interesse pelo tema viria a ser retomado pelo LNEC no final da década de 70, com novos desenvolvimentos teóricos (Maranha das Neves 1980 e 1983; Veiga Pinto 1983), o que foi acompanhado com um pequeno surto de construção de obras de enrocamento de novo tipo (os enrocamentos compactados) em obras de grande envergadura, como são as barragens de Beliche, Odeleite, Apartadura, S. Domingos, Lagoacho e Arcossó, bem como em diversos troços de vias de comunicação.

Na maior parte das obras de enrocamento, como sejam barragens, vias de comunicação, pistas de aeroportos, etc., podem ser utilizados, com raras excepções, todos os tipos de materiais rochosos mais comuns. Já para os enrocamentos de protecção é necessário proceder à selecção dos materiais, e muitos dos disponíveis não servem para esta finalidade. A capacidade de definir onde e como podem ser usados os materiais genéricos e a eficácia na selecção dos melhores são atributos que se ganham com a experiência, mas onde o rigor do estudo e a pertinência da investigação são auxiliares de irrecusável importância.

Na utilização dos materiais rochosos integrados em estruturas geotécnicas, são as características actuais dos materiais que permitirão explicar os valores obtidos para os parâmetros de projecto e que poderão funcionar, em certos casos, como propriedades-índice para estimar esses parâmetros, de determinação directa mais difícil e onerosa. A preocupação de também aí introduzir o estudo das características evolutivas dos materiais advém da necessidade de garantir as condições de projecto, nomeadamente em termos de manutenção da granulometria e, indirectamente, da permeabilidade e deformabilidade da estrutura.

Quando os materiais são integrados em estruturas de protecção, são sobretudo as características evolutivas que comandam o seu estudo, pois, de um modo geral, estas obras não são compatíveis com evoluções muito significativas. Por serem estruturas menos exigentes, os parâmetros de projecto estrutural são obtidos de forma corrente sem necessitar do recurso a técnicas especiais. A necessidade de conhecer as características evolutivas dos materiais – a sua alterabilidade – exige, pelo contrário, o recurso a metodologia mais específica, onde se perde frequentemente o carácter quantitativo, e onde o julgamento subjectivo, ainda que apoiado na experimentação e na experiência, ainda desempenha papel incontornável.

Portugal possui um valioso e diversificado património edificado em que a pedra e os materiais similares são uma componente determinante. As rochas carbonatadas e as graníticas são as mais representadas nas construções históricas de Portugal continental, enquanto que os materiais vulcânicos preponderam nos arquipélagos da Madeira e dos Açores.

De um modo geral, estas construções exibem problemas mais ou menos severos e necessitam, de forma recorrente, de intervenções específicas de conservação. A investigação e a experiência prática têm aqui amplo campo de acção, onde se podem incluir os estudos relacionados com o planeamento do território e o ordenamento urbano, a análise da segurança estrutural das construções, a avaliação da segurança face a acções dinâmicas, como os sismos e os ventos, o diagnóstico das causas de degradação e dos processos de alteração, bem como a elaboração de propostas de solução para os diferentes problemas.

Os parâmetros necessários para descrever e caracterizar um qualquer material pétreo, para as mais variadas utilizações, têm uma ampla base comum, mas no contexto do património construído, os materiais podem ter associado um valor intrínseco relevante, pelo que o seu estudo pode estar sujeito a condicionalismos e exigências significativas. A existência de valor intrínseco implica fortes restrições nas condições e nas formas de amostragem e, por extensão, nos métodos e nos protocolos de ensaio. A

utilização de amostragens sub-representativas e a menor precisão de resultados podem ser consequências inevitáveis dessas restrições. Se é verdade que estas contrariedades têm sido um factor limitativo na extensão e profundidade dos estudos que se podem realizar sobre objectos onde o material tem valor intrínseco, também é verdade, por outro lado, que elas têm servido como motivação para o desenvolvimento de métodos de microanálise e de ensaios não-destrutivos, o que faz deste sector um grande utilizador e motor de desenvolvimento de metodologias desta natureza.

Para além destas especificidades em termos de amostragem, o estudo dos materiais pétreos integrados em património construído histórico apresenta ainda outras particularidades. A existência de um valor intrínseco implica a necessidade de se procurar garantir a perenidade do elemento pétreo, em detrimento de uma possível substituição, o que requer abordagens próprias, com recurso a ferramentas específicas e, necessariamente, com custos proporcionalmente mais elevados. As acções ligadas ao uso de tratamentos contam-se entre o tipo de intervenções altamente específicas que se podem realizar sobre o património construído histórico.

As particularidades sumariamente apontadas poderão ser completadas com a grande diferença de escala que os dois tipos de estudo pressupõem. Nos materiais geotécnicos, são considerados os aspectos de larga escala, onde se verifica a preocupação pela previsão de desempenho de grandes massas de materiais pétreos, onde o bloco não tem individualidade, passando incógnito no seio do conjunto. Pelo contrário, nas construções históricas, o indivíduo conta, o bloco será a unidade de contagem e os problemas são estudados à escala que os métodos de análise o permitirem.

Mesmo sob uma disciplina única e com materiais idênticos, quando se estudam materiais pétreos, é, pois, necessário usar abordagens distintas, adaptáveis a cada caso concreto.

2 - OS MATERIAIS ROCHOSOS NA PRÁTICA GEOTÉCNICA

O estudo de materiais rochosos em obras geotécnicas é habitualmente feito para dois grandes grupos de situações:

- i) quando permanecem *in situ*, nos seus locais de jazida, onde, portanto, as suas características influenciam o comportamento do maciço rochoso, mas que, por sua vez, são também influenciados pelas acções e outras vicissitudes que o próprio maciço determina,
- ii) quando extraídos do maciço e usados em obras de qualquer tipo, onde passam a ser parte de uma estrutura construída nova; nestas circunstâncias, as suas características intrínsecas e a herança do seu passado integrados no maciço

são extremamente relevantes, mas o corte radical com o maciço elimina algumas acções que essa ligação impunha e implica a entrada em jogo de acções de outros tipos a exigir novas abordagens.

Por razões de oportunidade, o presente artigo aborda exclusivamente o estudo de materiais rochosos quando aplicados em obras do segundo tipo mencionado.

Em termos gerais, e de forma simplificada, pode dizer-se que o desempenho dos materiais rochosos em obras geotécnicas está ligado a duas propriedades essenciais: a resistência e a durabilidade. A deformabilidade, de grande importância nas obras geotécnicas, como por exemplo nos aterros de enrocamento, não tem directamente a ver com a deformabilidade intrínseca dos materiais rochosos que as integram, antes depende do esmagamento de contactos (e portanto da resistência) nas deformações de curto prazo, ou da maior ou menor estabilidade dessa resistência e da sua sensibilidade aos agentes agressivos do ambiente (isto é da sua durabilidade) nas deformações de médio e longo prazo.

Dito desta forma, o estudo dos materiais rochosos parece ter um âmbito simples e ser de fácil concretização. Ressalvando o contexto em que tal afirmação se aplica (simples e fácil não têm o mesmo significado num laboratório de investigação, num laboratório de ensaios correntes ou num estaleiro de obra) pode dizer-se que esta afirmação não está longe de ter validade generalizada. Contudo, importa sublinhar que existem múltiplas formas de medir a resistência e diversas abordagens para encarar a durabilidade, pelo que o tema e a validade da afirmação não se esgotam no seu próprio enunciado.

As características dos materiais rochosos dependem, desde logo, das características específicas de cada um dos seus minerais constituintes. Ter quartzo ou ter calcite na sua composição não é irrelevante e ter os feldspatos são ou alterados também tem implicações significativas. Para além da composição mineralógica, também influem as diferenças de textura e estrutura, nomeadamente, o tamanho do grão, o hábito dos cristais e o arranjo dos componentes.

O espaço vazio é uma característica muito relevante que, nalgumas circunstâncias, pode chegar a ser mais determinante do que os próprios componentes sólidos. Mas se a dimensão global desse espaço (a porosidade) é importante, a forma dos vazios (se de tipo "poro", ou de tipo "fissura") chega a ser decisiva. As rochas plutónicas e as metamórficas são materiais fissurados, enquanto que as sedimentares são predominantemente porosas. Como ilustração, pode dizer-se que os vazios sob a forma de fissuras reduzem a resistência e a velocidade de propagação de ondas elásticas e incrementam a permeabilidade

de forma muitíssimo mais significativa do que igual volume de vazios com a forma de poros.

A caracterização laboratorial de materiais rochosos pode ser realizada através de um número quase infindável de ensaios, que vão desde alguns simples e rápidos até outros sofisticados e de execução muito demorada. O significado dos resultados de um ensaio varia de acordo com o tipo de rocha em questão e a sua relevância do ponto de vista geotécnico varia de acordo com o objectivo, nomeadamente, quanto ao uso que vai ser dado ao material rochoso. Isto significa que não é o número de ensaios, mas sim o critério de selecção, que importa na atribuição da qualidade e relevância de dado programa de caracterização laboratorial.

Quando o estudo é feito sob bases lógicas e cientificamente apoiadas, os problemas clarificam-se, as abordagens podem resultar bastante simplificadas e as metodologias de caracterização podem aproximar-se da esquematização a trás e renunciada. Como tem sido afirmado em trabalhos anteriores (Delgado Rodrigues 1985 e 1991), as sistemáticas geológica e petrográfica são um excelente ponto de partida e são a base mais eficaz para chegar à definição de metodologias de estudo claras e abordagens de caracterização simples e eficazes. Começar pelo enquadramento geológico e petrográfico é, pois, uma boa prática, já que isso permite não só uma melhor selecção dos métodos de ensaio, mas também uma melhor interpretação dos resultados com eles obtidos.

Existe um número bastante extenso de métodos de ensaio que se destinam a determinar características de resistência de materiais rochosos. A preferência por um ou por outro desses métodos depende, muitas vezes, da disponibilidade de equipamentos apropriados e do tipo de amostras sobre as quais se vai operar. Resistências à compressão, à tracção e à flexão são determinadas correntemente, mas outros tipos, tais como a resistência ao esmagamento e a compressão pontual, têm também grande aceitação no meio geotécnico. A facilidade de uso ou a portabilidade do instrumento e a pouca exigência na preparação das amostras têm levado a dar preferência pelos dois últimos, ainda que a precisão e a dispersão sejam, em regra, significativas. A classificação de Marsal (1975) ao usar a resistência ao esmagamento como parâmetro de entrada para encontrar os parâmetros de projecto de barragens de enrocamento é um exemplo concreto e sugestivo da forma como podem ser utilizados os parâmetros deste tipo.

A durabilidade de materiais rochosos tem sido um assunto largamente abordado na prática geotécnica e existe uma vasta bibliografia nacional e internacional sobre o tema. Contudo, as formas de abordagem e os resultados nem sempre são cotejáveis, dados os diferentes conceitos e práticas que lhes estão subjacentes. Os conteúdos e as propostas

reflectem, naturalmente, a experiência dos autores e podem, por isso, ser de aplicabilidade difícil. É comum aceitar-se que a evolução em obra de materiais rochosos depende do jogo de dois grandes grupos de factores: os intrínsecos, ou próprios do material, e os extrínsecos, ou relativos ao ambiente em que o material se encontra. A composição mineralógica, a quantidade e tipo do espaço poroso, a granulometria e a textura contam-se entre os factores intrínsecos, enquanto que a temperatura, a disponibilidade de água, a presença de sais solúveis e o seu tipo e o estado de tensão são exemplo de factores extrínsecos.

Dependendo a evolução dos materiais do jogo complexo entre múltiplos factores, é razoável antecipar a grande dificuldade que existe em prever o desempenho em obra de materiais rochosos, em especial se se pretende que essa previsão seja quantificada, como é apanágio das previsões em engenharia civil. A experiência de obra é uma mais-valia insubstituível, ainda que de progresso lento e difícil. Os ensaios de envelhecimento artificial podem ser rápidos, mas esbarram com a dificuldade de saber como se modela a realidade de forma acelerada e, por isso, em saber que significado real têm os resultados dos ensaios artificiais. Em estudos de comportamento a longo prazo com rochas graníticas, foi apontado que a lei de fluência varia com o estado de alteração da rocha (Genevois and Prestininzi, 1979), o que sugere que a evolução da alteração que naturalmente pode ocorrer em obra (tome-se como exemplo as obras de enrocamento) pode ser uma factor significativo na evolução das deformações a longo prazo (Delgado Rodrigues 1985).

Em muitas circunstâncias, é suficiente ser capaz de prever comportamentos genéricos, ou de escolher entre umas poucas alternativas que se apresentam ao projectista/utilizador. Nestes casos, o conhecimento preciso dos materiais e a realização de um pequeno número de ensaios pode bastar para obter um panorama realista do enquadramento em que a evolução se fará e assim ser capaz de fazer previsões úteis e em tempo oportuno. O conceito de propriedades-índice é, aqui, plenamente aplicável.

A proposta de classificação geotécnica das rochas carbonatadas (Delgado Rodrigues 1979, 1988) utiliza a porosidade e a expansão por e mbebição como propriedades-índice e conjuga-as sob a forma de ábaco onde se discriminam tipos de comportamento e xpectáveis, e m função dos valores daqueles dois parâmetros. Mais tarde, em Delgado Rodrigues e Jeremias (1990), esta abordagem foi generalizada e transposta para a seguinte expressão matemática, que tem como objectivo a obtenção de um índice de durabilidade com base nos referidos dois parâmetros físicos (a porosidade e a expansibilidade) e num parâmetro de resistência mecânica:

$$IDR = (R/Rt) / (N+2a) \quad (1)$$

Em que:

IDR = Índice de Durabilidade de Rochas,

R = resistência mecânica (MPa),

Rt = 1MPa, como factor de adimensionalização,

N = porosidade (%),

a = expansibilidade ($\times 10^4$)

É óbvio que esta expressão não integra quaisquer factores exógenos e, por isso, a sua aplicação terá que ser acompanhada de uma discussão sobre os pressupostos em que assenta, nomeadamente, sobre a grande importância que é dada ao seu espaço poroso e ao papel dos minerais argilosos, especialmente os de natureza expansiva, avaliado através da expansibilidade. Se os mecanismos em jogo tiverem outro(s) parâmetro como factor primordial, cujo peso se sobreponha ao conjunto daqueles dois, a fórmula pode não traduzir inteiramente a realidade e a sua utilização pode ficar prejudicada.

3 - A PEDRA NO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO

Os materiais pétreos têm sido utilizados desde os tempos mais remotos na construção de obras, algumas das quais chegaram até ao nosso tempo em condições de serem consideradas como marcos do passado e terem, por isso, significado histórico e cultural. Nas obras assim qualificadas, os materiais podem adquirir um significado diferente daquele que é comum terem nas obras geotécnicas. Para além da importância que têm como componentes de uma qualquer estrutura (e nesse aspecto todos os materiais são mais ou menos relevantes nesse preciso contexto), nas construções históricas e nas obras de arte o material pétreo tem um valor intrínseco e, nessas circunstâncias, a sua importância vai para além do papel que possa desempenhar como integrante de uma qualquer estrutura construtiva.

Por serem construções de um passado historicizado, e portanto irrepetíveis, tudo o que nos chegou integrado nessas obras pode ter significado relevante e, por isso, toda e qualquer acção sobre os materiais deve ser precedida de uma atitude crítica e responsável, com respeito pelos princípios que, em cada momento e por cada cultura, sejam considerados pertinentes e aplicáveis. Dito em termos simples, os materiais são documentos concretos que informam sobre a evolução tecnológica dos seus construtores, das origens das suas matérias-primas, dos seus métodos construtivos e da sua perícia como arquitectos e operários. Por sua vez, as construções podem conter informação de índole artística e estética que não se restringe ao tipo e características dos materiais utilizados. Neste aspecto particular

(deixando de parte os aspectos puramente arquitectónicos ligados à forma como foi usado o volume construído e a sua envolvente), a superfície dos materiais pétreos assume grande importância, pois nela reside informação essencial que o artista quis transmitir com aquele material específico que utilizou na sua obra.

A superfície de uma pedra lavrada ou esculpida é uma entidade única e altamente precíval. Ela consubstancia a “improvável” ligação entre um muito remoto passado geológico (que os geólogos bem compreendem) e um passado histórico, que nela materializou uma concepção técnica e uma vontade artística ao jeito dos conceitos que em cada momento caracterizam as sociedades. Ora, o passado geológico está inscrito nas propriedades mássicas e volumétricas, enquanto que o passado histórico se regista a duas dimensões, com incidência nas características da superfície do material. Nesta ordem de ideias, a erosão de material poderá ser traduzida como um recuo de uma frente exposta, sem repercussões ao nível da informação de carácter geológico, mas pode significar a perda total e irreversível da informação de natureza histórica. É esta diferença de significado que confere especificidade aos estudos de conservação da pedra no património construído e os diferencia dos estudos correntes de Geologia de Engenharia.

Tendo em conta estas especificidades e a necessidade de seguir vias próprias que resolvam de forma correcta e eficaz os problemas que se levantam, é importante referir que existe uma vasta gama de conhecimentos e uma razoável panóplia de ferramentas que são comuns às duas vias e que, por isso, em muito podem beneficiar de um contacto estreito e de caminhos intermutáveis. Desde logo, o conhecimento dos materiais usa ferramentas da mineralogia e da petrografia e isso é válido qualquer que seja o objectivo prosseguido. Contudo, as exigências postas no uso de materiais rochosos em construções históricas são de grandeza superior, o que, em geral, tem implicado escolhas mais apertadas (e mais onerosas) dos materiais, onde os conceitos de durabilidade, avaliados à luz dos conhecimentos próprios de cada época, terão tido um papel mais ou menos relevante. Apesar disso, as exigências de natureza estética e as contingências de disponibilidade dos materiais e dos seus custos podem-se ter sobreposto às preocupações de durabilidade e resultar em opções que o tempo veio a mostrar comportarem riscos elevados em termos da sua preservação.

É importante aqui sublinhar que os conceitos ligados à preservação do património construído têm sofrido evolução e que os que hoje são adoptados por vastas comunidades não foram sempre assim, ou não são, mesmo hoje, assim para todas elas. A substituição periódica e ritual dos templos de madeira é uma prática seguida e considerada aceitável na tradição do extremo oriente e a substituição extensi-

va da pedra degradada tem sido praticada e aceite de forma generalizada por certas correntes de pensamento na Europa, como por exemplo na prática de conservação da chamada “*escola francesa*”. Contudo, nas comunidades mais “*conservacionistas*”, a substituição apenas é aceite quando está em risco a integridade do objecto ou quando a peça desempenha uma função crucial na sua unidade artística.

Nestas circunstâncias, quando os elementos pétreos se degradam de forma que comprometa alguns dos valores que lhe estão associados (de natureza estrutural ou cultural), justifica-se e aceita-se que sobre eles sejam realizadas intervenções que possam contribuir para dotar o objecto de condições para suportar as acções a que está sujeito e, assim, poder ser transmitido nas melhores condições possíveis às gerações futuras.

As acções que podem ser realizadas sobre os objectos incluem-se na designação genérica de intervenções de conservação e podem assumir tipos, âmbito e extensão extremamente diversificados, que, aqui, não cabe enumerar, nem aprofundar. No que diz respeito aos materiais pétreos, existem acções específicas, com problemática própria, que hoje são objecto de interesse por vastas comunidades técnicas e científicas. A *conservação da pedra*, assim se designa esta temática, necessita de explorar, na sua máxima potencialidade, todos os conhecimentos das ciências de base, como a geologia, a petrografia e a mineralogia, bem como as metodologias de caracterização física, química e mecânica, que podem chegar a exigências de grande sofisticação, de acordo, naturalmente, com o tipo de problema em causa e com os valores associados ao objecto em questão. Conhecer os processos que conduzem à degradação dos materiais é assunto de primeira necessidade na conservação do património construído, tal como o é nos estudos de índole geotécnica. Em grande medida, os processos de degradação são os mesmos, as causas podem ter muito em comum, ainda que as repercussões possam ser significativamente diferenciadas. A porosidade do material influi fortemente na susceptibilidade à cristalização de sais e a expansibilidade informa sobre a presença de minerais argilosos e do grande risco que apresenta o material quando em contacto com a água. A ligação aos pressupostos que estiveram na base do desenvolvimento das classificações atrás apontadas mostra que elas serão, também aqui, plenamente aplicáveis (Delgado Rodrigues, 2001).

A necessidade de actuar contra a degradação e contra a perda de material adquire aqui uma importância muito particular e, em grande medida, este aspecto distingue a actividade de conservação da prática corrente em obras comuns de geotecnia. A introdução de melhorias no ambiente (controlando os parâmetros do ambiente como a temperatura ou a humidade relativa) ou a escolha de ambientes mais favoráveis (deslocação da peça para um museu, por

exemplo) são acções possíveis, mas outras mais drásticas, como o tratamento com produtos químicos podem encontrar justificações para o seu uso.

O estudo de tratamentos de conservação é uma disciplina que tem evoluído muito nas últimas décadas e é, hoje, um tema de investigação sedimentado, que interessa a muitos laboratórios e centros de investigação (Delgado Rodrigues 2003). Lidar com materiais pétreos com valor histórico ou cultural implica usar abordagens cautelosas e metodologias defensivas, pois o carácter irreversível da maior parte das acções de conservação e os efeitos não inócuos que muitas vezes estão associados aos tratamentos de conservação fazem com que se esteja, muitas vezes, a trabalhar na fronteira entre uma intervenção num objecto arquitectónico e uma obra de arte. A justeza de realizar tratamentos de consolidação é, nalguns casos, suportada em resultados da investigação (Delgado Rodrigues e Costa, 1996), mas, com frequência, este assunto continua a ser um problema de muito difícil solução (Delgado Rodrigues, 2000).

O significado e importância das superfícies pétreas, mormente quando nelas residem valores de natureza estética, implicam que lhes sejam dedicados cuidados fora do habitual e podem justificar acções de particular onerosidade. A presença de sujidade natural ou de origem antrópica é, em regra, um factor nefasto para as superfícies e justifica a sua eliminação. A limpeza dessa sujidade é, também ela, uma operação delicada e a exigir os máximos cuidados, pelo que também estas operações são objecto de investigação. A utilização da radiação LASER é já uma prática corrente na limpeza de superfícies pétreas (e em muitos outros tipos de materiais, deve salientar-se), mas outras práticas igualmente dispendiosas encontram lugar para o seu uso. A consolidação faz-se com produtos químicos dos mais diversos tipos, orgânicos ou inorgânicos, mas a reparação das superfícies degradadas através da inoculação de bactérias regeneradoras de calcite ultrapassou, já, os limites da ficção e é, hoje, uma das promessas mais excitantes na investigação laboratorial sobre conservação da pedra (Tiano *et al.*, 1999).

O progresso do conhecimento sobre materiais rochosos continuará a ter lugar através do alargamento dos conhecimentos de base e do aprofundamento dos aspectos específicos que a especialidade requer, e disso beneficiarão a actividade de investigação, bem como a componente prática, quer elas sejam aplicadas à vertente das obras geotécnicas tradicionais, quer à da conservação do património construído histórico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Delgado Rodrigues, J. (1985). *Proposta para uma classificação geotécnica de rochas carbonatadas*. Geotecnia Nº 44, SPG.
- Delgado Rodrigues, J. (1988). *Proposed geotechnical classification of carbonate rocks based on Portuguese and Algerian examples*. Engineering Geology, 25, pp.33-43.
- Delgado Rodrigues, J. (1991). *Physical characterization and assessment of rock durability through index properties*. In Advances in Rockfill Structures, Chap. 2, Ed. by E. Maranha das Neves, Kluwer Academic Publs.
- Delgado Rodrigues, J. (Junho de 1985). *Investigação sobre materiais rochosos com aplicação a obras de enrocamento*. Programa de Investigação, LNEC, Lisboa.
- Delgado Rodrigues, J. (September 1993). *Assessment of the degradability of soft rocks*. Panel Report; Symposium on Hard Soils - Soft Rocks, Athens.
- Delgado Rodrigues, J. and Jeremias, F. T. (1990). *Assessment of rock durability through index properties*. Proc. 6th Int. Cong. IAEG, Amsterdam.
- Delgado Rodrigues, J. (2000). *Conservação de monumentos. Aspectos técnicos e metodológicos e seu enfoque na conservação da pedra*. Geotecnia, No. 89, SPG.
- Delgado Rodrigues, J. (2001). *Swelling behaviour of stones and its interest in conservation*. An appraisal. Materiales de Construcción, Vol. 51, nº 263-264, Julio-Septiembre-Diciembre, pp. 183-195.
- Delgado Rodrigues, J. (2003). *A conservação da pedra no LNEC. Apontamentos de uma história com três décadas*. 3º ENCORE, LNEC, pp. 29-49.
- Delgado Rodrigues, J. (2000). *Consolidation of decayed stones. A delicate question with few practical solutions*. Proc. Int Seminar on Historical Constructions, Guimarães.
- Delgado Rodrigues, J. e Costa, D. (eds.) (1996). *Conservation of granitic rocks*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Genevois, R and Prestininzi, A. (1979). *Time dependent behaviour of granitic rocks related to their alteration grade*. Proc. 4th Int. Cong. ISRM, Montreux.
- Marsal, R. (1975). *Resistência y compresibilidad de enrocamientos y gravas*. In: Presas de Tierra y Enrocamiento, Editado por R. Marsal y D. Resendiz, Editorial Limusa, México.
- Maranha das Neves, E. (1980). *Notas sobre o dimensionamento de barragens de enrocamento*. Geotecnia Nº 28, SPG.
- Maranha das Neves, E. (Agosto de 1983). *Previsão de deformações e critérios de dimensionamento*

em barragens de aterro. Programa de Investigação, LNEC, Lisboa.

Quinta Ferreira, M., Veiga Pinto, A., Monteiro, B. e Delgado Rodrigues, J. (Abril de 2000).

Contribuição das propriedades-índice para a caracterização mecânica dos materiais de enrocamento. VII Congresso Nacional de Geotecnia, Porto, pp. 287-297.

Tiano, P., Biagiotti, L. and Mastromei, G. (1999).

Bacterial bio-mediated calcite precipitation for monumental stones conservation: methods of evaluation. Journal of Microbiological Methods 36, pp.139-145.

Veiga Pinto, A. (1983). *Previsão do comportamento estrutural de barragens de enrocamento*. Tese LNEC, Lisboa.