

HISTÓRIAS COM ÁGUA E PEDRAS. NEM SEMPRE MOLE, NEM SEMPRE DURAS

J. DELGADO RODRIGUES ¹

PALAVRAS-CHAVE: reparação obras hidrogeotécnicas, alteração de rochas xistosas, preservação de arte rupestre, preservação contra a submersão.

KEY WORDS: remediation of hydrogeotechnical works, decay of schistous rocks, preservation of rock art, preservation in submersion conditions.

RESUMO

Apresentam-se 4 casos de estudo onde se procura ilustrar a acção da Geologia de Engenharia na resolução de problemas concretos de diversas índoles: i) o restabelecimento dos caudais numa captação de água, ii) a resolução de um incidente em obras de saneamento básico que originou a perda de caudal de nascentes termais, iii) a preservação de gravuras paleolíticas em contextos de eventual submersão e de exposição sub-aérea e iv) a preservação de uma construção em xisto de idade romana em condições de submersão longa e permanente.

ABSTRACT: Stories with water and rocks: soft and hard not for ever

The paper presents 4 case studies aiming at illustrating the role of Engineering Geology as a tool for solving different kinds of real problems: i) the reestablishing of discharge levels in a water supply scheme, ii) the resolution of an incident in a sewage network with implications in thermal water springs, iii) the preservation of rock art in eventual submersion conditions and in sub aerial exposure and iv) the preservation of a schist built construction of Roman age for supporting long term and permanent submersion.

419

¹ Geólogo, Investigador Coordenador do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av Brasil, 1700-066 Lisboa; delgado@lnec.pt.

Tendo este modelo interpretativo como base, foi proposto que a vala fosse revestida completamente com paredes de betão em forma de U, dentro do qual seriam instaladas, de forma independente, as tubagens de saneamento básico. Este revestimento deveria ser betonado contra o terreno de forma a impedir que se desenvolvesse qualquer rede de fluxo privilegiada entre o revestimento e o terreno. Sendo completamente impermeável, era de prever que o aquífero voltasse a ganhar carga hidráulica, de forma a recuperar as nascentes. A instalação independente de condutas punha a salvo de riscos de contaminação das nascentes provocadas por eventuais roturas da rede de saneamento.

A construção do revestimento revestia-se de alguma dificuldade, nomeadamente devido às elevadas temperaturas e à presença de fluxos verticais ascendentes que dificultavam a aplicação do betão, pelo que foi recomendado que ele fosse realizado por troços e com cuidados adicionais, a fim de garantir a qualidade da solução. Foram ainda sugeridas medidas complementares que permitissem a inspecção futura das obras e a detecção de eventuais roturas na zona de atravessamento das nascentes.

A solução preconizada foi construída e os caudais foram totalmente recuperados, tendo os dois problemas sido resolvidos satisfatoriamente.

4. CONSERVAÇÃO DAS GRAVURAS DE FOZ CÔA

A) CONSIDERAÇÕES GERAIS

A discussão e a polémica que estiveram associadas ao caso das gravuras de Foz Côa, desde a sua descoberta até à decisão de abandonar a construção da barragem, podem ser consideradas exemplares sob muitos pontos de vista. As notícias nos meios de comunicação nacionais e internacionais, os artigos de opinião publicados, as tomadas de posição de grupos de cidadãos, as petições nacionais e internacionais, as discussões e os artigos científicos escalpelizaram o assunto dos mais diversos pontos de vista e os seus argumentos e a veemência posta na discussão foram suficientes para fazer abortar a construção de uma das barragens mais importantes da rede eléctrica nacional.

A conservação das gravuras acabou por estar fortemente envolvida nas discussões (nem sempre com razão, como adiante procurarei explicar), pelo que as questões técnicas, que são as únicas que nos compete tratar enquanto técnicos de um laboratório do Estado, acabaram por extravasar esse limite e entrar em discussões com contornos já mais políticos do que técnicos. O signatário foi chamado, enquanto especialista, a opinar sobre diversas matérias relacionadas com a conservação das gravuras, pelo que pôde testemunhar alguns dos episódios marcantes da discussão em torno da continuação ou do abandono da construção da

barragem. Em face da responsabilidade que lhe cabia enquanto técnico, o signatário sempre fez questão de não se deixar envolver na polémica de fundo que estava em discussão, pois só assim poderia aspirar a ter algum papel na questão verdadeiramente relevante — a preservação das gravuras — quer elas fossem imersas, quer viessem a ficar como sempre estiveram.

A polémica centrada nas gravuras de Foz Côa teve (e tem) diversas vertentes e não é possível reduzi-la a uma equação simples e de resposta única. Há, necessariamente, uma componente científica que todos reconhecem, a par de outras vertentes relevantes, de natureza social, económica e política, eventualmente menos evidentes, mas nem por isso menos importantes. Todas elas são de difícil quantificação e têm diferentes “medidas-padrão” para aferição das suas grandezas, pelo que não seria difícil prever que, dadas as valias absolutamente excepcionais de algumas dessas vertentes, o consenso seria virtualmente impossível e a solução só poderia ser política.

O presente texto aborda exclusivamente questões de índole técnica e científica que se prendem com os efeitos de uma eventual submersão e com a situação que se verifica na sua ausência. Nem o presente texto, nem as anteriores posições do signatário permitem, só por si, justificar as opções de submersão das gravuras ou do abandono da construção da barragem. Não se trata de fugir à polémica, escudando-se em posições tecnocráticas. Tratando-se, como ficou dito, de cotejar uma valia científica excepcional, com uma valia económica e estratégica reconhecidamente muito relevante, postas em posições antagónicas, apenas os argumentos políticos poderiam ser decisivos e esses estão fora da óptica do presente artigo.

Os elementos de natureza técnica que adiante serão utilizados foram obtidos durante a realização de estudos do LNEC para o IPPAR ou para a HIDRORUMO. A colaboração com estas duas entidades foi requisitada de forma independente, mas foi desenvolvida sempre com conhecimento mútuo. Os resultados e pareceres foram publicados em relatórios do LNEC [5, 6, 7, 8].

B) AS PRIMEIRAS QUESTÕES LIGADAS À SUBMERSÃO

Logo nas primeiras tomadas de posição no debate sobre a possível influência da albufeira sobre as gravuras apareceram, de forma recorrente, afirmações que associavam a submersão à destruição das gravuras. Essas afirmações nunca foram acompanhadas de demonstrações ou comprovações e, nalguns casos, mesmo, os argumentos aduzidos situavam-se no campo da mais completa inverosimilhança. Tal era o caso, por exemplo, de invocar o risco de abrasão que a deposição de sedimentos acarretaria, quando é sabido que a circulação das águas numa albufeira é sempre extremamente lenta e que os sedimentos se depositam sem qualquer efeito abrasivo sobre as margens.

A invocação da possível agressividade química da água é uma questão mais séria e, por isso, merece maior desenvolvimento. Os valores relativamente baixos do pH das águas das chuvas e das águas que circulam nos maciços eram os argumentos mais invocados para justificar os riscos da submersão. A procura das respostas a esta questão passou pela realização de alguns ensaios de simulação das condições de submersão, mas a análise teórica dos mecanismos em presença permite, também, encontrar alguns contributos para esta apreciação.

C) AS ROCHAS DO VALE DO CÔA E OS SEUS MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO

A descrição geral da geologia da região encontra-se na folha 15-A da Carta Geológica de Portugal [9], enquanto que os aspectos relevantes para o empreendimento estão descritos em NEIVA, 1993 [10]. A região insere-se na Zona Centro Ibérica da Cadeia Hercínica. Rochas metassedimentares do Grupo do Douro pertencentes ao Complexo Xisto-Grauváquico encontram-se aqui amplamente representadas. São sedimentos turbidíticos deformados durante a deposição e, posteriormente, em sucessivas fases da orogenia alpina. Xistos, filádios e metagrauvaques constituem os tipos litológicos que predominam na zona de influência da albufeira e são dessa natureza os afloramentos rochosos que constituem as rochas-suporte das gravuras.

Pela sua composição mineralógica, estas rochas podem ser consideradas bastante resistentes à alteração química. A prevalência de arestas vivas, os solos esqueléticos que se desenvolvem nestes maciços e a quase total ausência de materiais alterados são prova dessa elevada resistência. A observação de pormenor, com auxílio de microscópio, permite verificar que as zonas mais expostas exibem alguns vacúolos típicos devidos ao desaparecimento de alguns minerais. Alguma coloração acastanhada, por deposição de óxidos e hidróxidos de ferro, e um ligeiro incremento de porosidade nas zonas mais próximas da superfície são as manifestações mais evidentes da alteração de natureza química. Por sua vez, é visível uma profusa rede de fissuras e microfissuras, a níveis macro e microscópio, que evoluem para fracturas com desenvolvimento da dimensão dos afloramentos. A marcada anisotropia das rochas-suporte das gravuras influi fortemente no desenvolvimento e na orientação da rede fissural, pelo que as formas de degradação que prevalecem são os fragmentos de dimensões diversas, mas sempre de arestas vivas, sinal da predominância dos mecanismos de natureza física sobre os de natureza química.

Na altura da descoberta das gravuras (antes da extensiva limpeza que lhes foi feita) as rochas-suporte estavam fortemente colonizadas com microflora variada, onde se evidenciavam as diversas espécies líquénicas que existem nos afloramentos da região. Para além do impacte visual que provoca, a colonização deixa evidentes sinais do seu ataque às superfícies, nomeadamente pela formação de

alvéolos, mais ou menos profundos. Alguns dos sulcos das gravuras estão significativamente afectados pelo crescimento de tais alvéolos. A existência, lado a lado numa mesma rocha-suporte, de sulcos bem vincados e de outros fortemente afectados pela progressão dos alvéolos não pode deixar de ter significado histórico, quer esse facto signifique diferentes épocas de incisão, quer seja devido a reincisão posterior.

D) DEGRADAÇÃO DAS ROCHAS-SUPORTE EM CONDIÇÕES SUB-AÉREAS

No decurso da polémica, algumas afirmações produzidas consideravam, de forma mais ou menos explícita, que as rochas-suporte têm passado incólumes a sua exposição sub-aérea e que esse ambiente apresentaria, por isso, as condições ideais para a sua preservação. Uma observação cuidada das rochas-suporte mostra que tal pressuposto não é verdadeiro ou, pelo menos, não o é na sua totalidade. De facto, são numerosas as gravuras mutiladas pelo desaparecimento de partes significativas da superfície dos blocos e outras encontram-se em condições de estabilidade muito precária. A colonização biológica, especialmente a de tipo líquénico, transformou profundamente a morfologia de algumas incisões e nem mesmo o vandalismo mais ou menos recente as poupou, ainda que culturalmente fossem umas ilustres “desconhecidas”. As instabilizações de taludes são fenómenos que ocorrem de forma bastante generalizada, os afloramentos rochosos estão bastante desconjuntados, as suas diaclases estão abertas e alguns blocos sofreram deslocamentos significativos e é verosímil que algumas rochas-suporte tenham pura e simplesmente desaparecido na sua totalidade.

A observação dos afloramentos gravados permite, pois, afirmar que as condições de exposição sub-aérea trazem, também elas, alguns riscos para a preservação das gravuras, como seria, aliás, previsível para quem tenha destes fenómenos algum entendimento cientificamente fundamentado. A fissuração extensiva traduz a sensibilidade destes materiais às variações do teor em água e às variações térmicas, que se considera serem os mecanismos de alteração com incidência mais evidente nas transformações que se observam nas superfícies gravadas. Seguindo-se à fissuração, dá-se o desprendimento de fragmentos de maior ou menor dimensão, em especial ao longo do contorno dos afloramentos. No presente, podem encontrar-se situações de todos os tipos, entre afloramentos com a superfície relativamente estabilizada, até outros em situação extremamente precária, com sérios riscos de perda iminente. Dadas as naturais variações de composição litológica, de exposição aos agentes de degradação e até as suas dimensões, não se estranha que os muitos afloramentos gravados representem todas as situações expectáveis em termos de grau de degradação.

E) ALTERAÇÃO EXPERIMENTAL DE ROCHAS DO VALE DO CÔA

A alteração que se verifica nos afloramentos gravados desenvolveu-se ao longo de algumas dezenas de milhares de anos, pelo que ela se deve ter processado sob condições de ambiente que terão variado ao longo do tempo. A reprodução por via experimental nunca é verdadeiramente representativa do que ocorre na realidade, pelo que as interpretações que se façam a partir de resultados de laboratório devem sempre ser feitas de forma cautelosa, dentro das limitações que tais condições de ensaio implicam. Tendo em conta essas limitações, foram realizadas duas sequências de ensaios, sendo uma destinada a verificar a taxa de solubilização das rochas xistosas e outra a testar a sua sensibilidade às variações do teor em água. Os ensaios de solubilização foram realizados com pequenos provetes de rocha imersos em água bi-destilada, em três ciclos sucessivos de 14, 28 e 31 dias. Regularmente eram medidos o pH e a condutividade eléctrica da água. Simultaneamente foram ensaiados provetes de granito e de mármore para servirem de termos de comparação, já que se sabia ser difícil efectuar a interpretação dos resultados apenas em termos absolutos. Dentre os resultados obtidos, salientam-se os seguintes⁸:

- os valores do pH e da condutividade eléctrica das soluções aumentam rapidamente no caso do mármore, sendo a evolução muito mais lenta no caso dos granitos e dos xistos,
- a taxa de mobilização dos iões nas rochas siliciosas é muitíssimo inferior à que se verifica nas rochas carbonatadas, ainda que muito pouco porosas, como é o caso dos provetes de mármore ensaiados,
- a taxa de mobilização dos elementos químicos, quer nos xistos, quer nos granitos, diminui à medida que o tempo de imersão avança, denotando tendência para a estabilização a valores bastante baixos de condutividade eléctrica. No mármore a taxa de mobilização mantém-se bastante elevada e relativamente constante ao longo dos 3 ciclos realizados,
- nas rochas menos alteradas (granito "gD" e xisto "xis3"), as taxas de mobilização inicial são mais elevadas, mas reduzem-se a ritmo mais forte.

Na figura 3 sintetizam-se os resultados da evolução de condutividade eléctrica. De notar, a maior condutividade eléctrica da solução em contacto com o mármore, bem como a regularidade ao longo do ensaio, sugerindo que a capacidade dissolvente se mantém inalterável ao longo dos 3 ciclos. As soluções em contacto com o granito ou com os xistos denotam a maior resistência destas rochas à extracção iónica e mostram que após uma maior taxa de mobilização das superfícies recém-cortadas, se seguem acentuadas reduções no segundo e no terceiro ciclos, com tendência para a estabilização a níveis bastante baixos de condutividade.

Em termos conclusivos, os resultados mostraram que a extracção de espécies químicas por água de elevada agressividade (bi-destilada, pH=5,3 e condutivi-

dade eléctrica de $2,0\text{mS.cm}^{-1}$) é muitíssimo baixa. Em termos relativos, eles são da ordem de grandeza dos verificados nos granitos e muitíssimo inferiores aos obtidos nos mármore. A solubilização decresce rapidamente com os sucessivos ciclos de imersão, como consequência da progressiva redução do papel das superfícies de corte recente, naturalmente mais vulneráveis ao ataque da água. Este comportamento sugere que as superfícies antigas, já estabilizadas do ponto de vista da sua susceptibilidade à solubilização, deverão apresentar taxas de mobilização ainda inferiores às registadas nos ensaios realizados. A reconhecida baixíssima mineralização das águas subterrâneas que circulam em maciços de natureza xistosa está em perfeito acordo com os resultados experimentais obtidos.

Do ponto de vista dos riscos que a submersão poderia trazer para as gravuras, foi concluído que a solubilização não seria uma ameaça significativa, nomeadamente porque a água que estaria em contacto com as gravuras teria muito menor agressividade química, quer pelo seu pH mais elevado, quer pela maior concentração iónica¹¹, quando comparada com a água bi-distilada usada nos ensaios. Em termos de mera análise, importa ainda referir que as gravuras sempre estiveram em contacto com a água das chuvas, ela própria muito mais pura e mais agressiva do que água que corre no rio Côa e que o facto de terem resistido todo o tempo que levam desde a sua incisão é a prova mais cabal da sua elevadíssima resistência à solubilização. Uma eventual (e não provada, como vimos) sensibilidade à solubilização pela água da albufeira deixaria sérias dúvidas sobre a sua própria resistência à água das chuvas e, consequentemente, quanto à possibilidade de terem a idade que lhes é atribuída pelos arqueólogos.

Os ensaios de envelhecimento artificial, em câmara climática com ciclos de alternância de humidade relativa baixa e elevada a dois patamares de temperatura, bem como com ciclos de molhagem e secagem em câmara de nevoeiro, não foram suficientes para degradar os provetes de forma detectável pelos meios experimentais utilizados, nomeadamente a velocidade de propagação de ultrassons. Se exceptuarmos os níveis mais alteráveis e friáveis que existem nalguns dos blocos-suporte das gravuras, e que não foram amostrados para este estudo, pode-se concluir que, para além da sua fraca sensibilidade ao ataque químico, também a sua resistência às variações do teor em água parece ser significativa.

Apesar de apresentarem evidentes sinais de alteração física, as rochas-suporte das gravuras têm resistido de forma notável aos agentes de degradação, pelo que se compreendem os resultados obtidos neste estudo. A manutenção do bom estado de conservação de muitas das incisões durante o período de cerca de duas dezenas de milhares de anos, que é considerado como idade das gravuras, só terá sido possível pela elevada resistência das rochas-suporte e este facto é, simultaneamente, um forte argumento para contraditar a tese de que uma eventual submersão iria originar a destruição das gravuras.

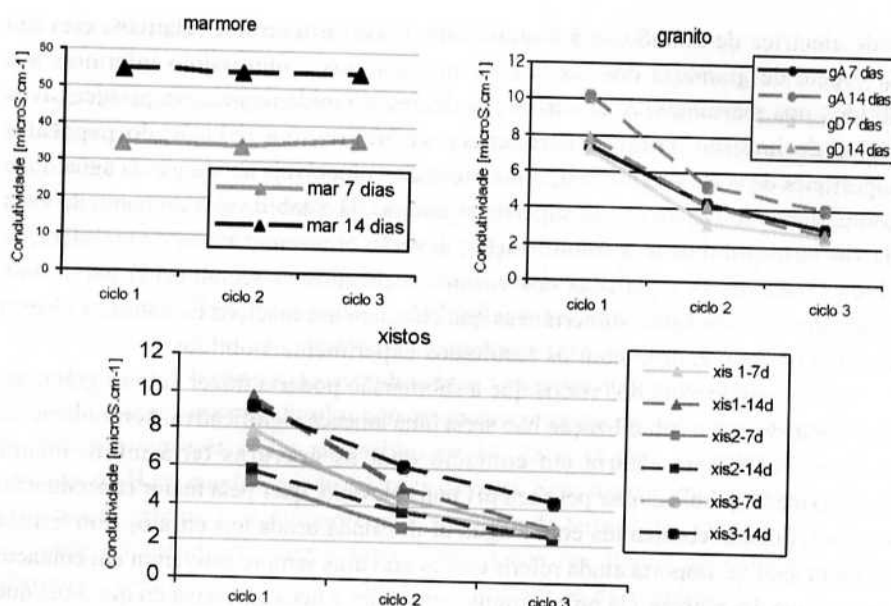


Fig. 3 – Evolução da condutividade eléctrica da água de contacto com provetes de mármore, granito e xisto, ao fim de 7 e 14 dias.

Considerando-se, assim, demonstrado que o ataque químico das águas da possível albufeira não era um risco sério para as gravuras, importa referir que a submersão comportava alguns riscos. De facto, existem níveis relativamente friáveis e áreas com blocos em situações de estabilidade muito precária que não resistiriam à agitação provocada pela água da albufeira e, por isso, correriam o risco de desmoronamento. Deste modo, caso a construção prosseguisse, teria sido imprescindível realizar obras de conservação que preparassem os blocos para uma futura submersão, nomeadamente para precaver contra as instabilizações que a remoção de pequenos níveis de solo intercalados entre os blocos mais desconjuntados corria o risco de provocar.

No seguimento da decisão de abandonar a construção da barragem, as autoridades promoveram a realização de novos estudos tendo em vista a conservação e gestão do Parque Arqueológico do Vale do Côa, entretanto criado. O LNEC e o autor foram solicitados a continuar a dar a sua colaboração, cujos resultados têm ficado expressos em documentos próprios [12, 13], de onde foram extraídas as considerações que aqui se apresentam.

O maciço que contém as rochas-suporte está intensamente diaclasado e a queda de blocos é um processo de evolução bastante frequente. Com alguma frequência, os afloramentos estão fortemente desconjuntados, muitas vezes já com evidentes indícios de terem sofrido movimentações. Algumas gravuras estão mutiladas pelo desprendimento de blocos e, outras, estão em fase de perda iminente. A estabilização dos blocos-suporte é a operação mais urgente, pois as perdas que a sua instabilização acarreta serão sempre de grande monta e podem ocorrer de forma súbita, a qualquer instante. A sua estabilização será uma operação delicada, pois ela incluirá acções de índole geotécnica, dirigidas a massas de rocha relativamente grandes, mas que devem ser realizadas com métodos e cuidados mais próprios da conservação arquitectónica do que das típicas intervenções em obras geotécnicas.

Por sua vez, as superfícies gravadas exibem intensa fissuração, mas a elevada resistência ao ataque químico tem permitido que a perda de material seja moderada. Em termos gerais, não parece necessário proceder a grandes operações de consolidação por impregnação generalizada das superfícies, mas a colmatação das fendas mais abertas e a contenção dos bordos das superfícies gravadas são acções que permitirão dar alguma margem de segurança adicional para as gravuras.

Algumas gravuras manifestam evidentes sinais de ataque dos líquenes que existiam nas superfícies. A limpeza com meios mecânicos que foi efectuada após a descoberta das gravuras eliminou a colonização mais visível, mas o método não é apropriado para eliminar as espécies microscópicas nem a componente endolítica das espécies liquénicas mais desenvolvidas. A aplicação de produto biocida apropriado poderá ser a alternativa mais apropriada para atacar este problema.

A abordagem à conservação das rochas-suporte deve definir prioridades, pois enquanto algumas se encontram em razoável estado de conservação, outras exibem sinais de instabilidade iminente, pelo que devem ser intervencionadas com alguma urgência. Quer as intervencionadas, quer as que se considerem poder ser deixadas para segunda prioridade devem ser objecto de apropriado esquema de monitorização, a fim de avaliar o desempenho e a adequação das soluções de conservação adoptadas ou a alertar para a necessidade de efectuar novas intervenções, caso os sinais de instabilidade assim o recomendem.

A conservação do sítio não se esgota nas acções a realizar directamente nas rochas-suporte. A delineação dos caminhos de visita, o enquadramento paisagístico, a protecção da vegetação nativa e a introdução de barreiras – físicas e psicológicas – para impedir o contacto directo dos visitantes com as rochas gravadas são outros aspectos adicionais recomendáveis para a preservação deste valioso património arqueológico.

- 13 AAVV – *Report of the International Commission on Conservation of the Côa Valley Archeological Park* .September 1997.
- 14 DELGADO RODRIGUES, J. – *Parecer sobre o estado de conservação do Castelo da Lousa e medidas para a sua preservação*. LNEC, Relatório 5/98 - GERO, Janeiro de 1999.
- 15 Discussões havidas num Encontro promovido pela EDIA, em Évora, para divulgação do património arqueológico na área inundada pela albufeira da barragem de Alqueva, em Fevereiro de 2001.