

MARTIM PORTUGAL V. FERREIRA
Coordenação

A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos

VOL. 1 • GEOLOGIA DE ENGENHARIA



Coimbra • Imprensa da Universidade

EFEITOS DA CONTAMINAÇÃO SALINA EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

C. A. SIMÕES ALVES¹, A. S. GONÇALVES ANTUNES¹ e J. M. S. MATIAS¹

PALAVRAS CHAVE: contaminação salina, deterioração, materiais de construção.

KEY WORDS: salt contamination, decay, building materials.

RESUMO

Os sais solúveis são um agente frequentemente presente em diversas obras, contribuindo para a deterioração de património antigo e recente e afectando todo o tipo de materiais, naturais e artificiais, porosos (com uma importante acção física pela cristalização dos sais, existindo ainda indicações de alterações químicas em argamassas) ou metálicos (acção predominantemente química). Os efeitos dos sais solúveis em materiais de construção são exemplificados, ilustrando o impacto que a contaminação salina pode ter pela erosão da superfície (que em algumas situações pode implicar o desaparecimento dos materiais, como é o caso das pinturas) ou por alterações cromáticas. São ainda mencionados, baseados no conhecimento das características da contaminação salina, exemplos de possíveis estratégias de prevenção, que podem passar pela selecção de materiais menos contaminantes (com menor conteúdo de componentes reactivos), ou pelo melhoramento dos materiais com a finalidade de os tornar menos susceptíveis aos efeitos da contaminação salina, sendo também referidas possíveis estratégias de remediação para objectos contaminados, entre as quais estratégias baseadas na remoção dos sais (dessalinização) e no controlo climático.

275

¹ Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, 4710-057 Braga.

ABSTRACT: The effects of salt contamination on building materials

Soluble salts are a frequent weathering agent in architectural works, contributing to decay of ancient and new patrimony, affecting all kind of materials, both natural and artificial, both porous (with important decay associated with physical process resulting from salt crystallization and hydration and possible chemical reactions with mortars) and metallic (decay mostly associated with chemical reactions). Effects of salt contamination on ancient and new constructions are exemplified, illustrating the impact of soluble salts by erosive processes (that in some situations, like paints, can imply the total disruption of the material) and by chromatic alterations. Possible prevention strategies are also mentioned, aiming to avoid the impact of recognized salt contamination, like the selection of less contaminant (or reactive) materials or the improvement of materials to made them less susceptible to salt weathering. Remediation strategies for objects already polluted are also referred, being mainly based on the removal of salt contamination (desalination) and climatic control measures.

INTRODUÇÃO

Os sais solúveis são um factor ubíquo nas construções, contribuindo para a deterioração de património antigo e recente e afectando todo o tipo de materiais (DELGADO RODRIGUES, 1979; WINKLER, 1994; AIRES-BARROS, 2001). Os exemplos de contaminação salina encontrados no património arquitectónico apresentam uma diversidade de características geoquímicas que reflecte as inúmeras potenciais fontes de poluição, entre as quais se incluem: precipitação atmosférica (húmida e seca), águas do solo e subterrâneas, dejectos orgânicos e os próprios materiais de construção, incluindo as pedras (como as rochas sedimentares formadas em ambiente marinho – WÜST & SCHLÜCHTER, 2000), argamassas (com ligantes, aditivos, inertes e águas de preparação com composições variáveis), tijolos, etc.

No presente trabalho pretende-se ilustrar efeitos da contaminação salina em diversos materiais de construção no património histórico e recente, mas, tendo em consideração a formação e experiência dos autores, será dado particular destaque à deterioração da pedra granítica. A caracterização da origem da contaminação salina e dos processos de deterioração associados será utilizado para a indicação de possíveis estratégias de prevenção e remediação dos efeitos desta contaminação. Se bem que muitos dos estudos seguidamente apresentados dificilmente poderão ser incluídos no campo clássico da geologia, eles devem ser vistos como trabalhos em que o geólogo pode prestar contribuições desde a selecção de materiais e na orientação e definição de programas analíticos e de conservação de materiais com valor patrimonial.

MATERIAIS POROSOS

Os efeitos da contaminação salina nos materiais de construção mais frequentemente referidos estão maioritariamente associados com acções físicas, resultantes de neoformações no meio poroso (ou na interface entre componentes, no caso do betão). Para tal é necessário a migração das soluções no meio poroso por capilaridade (ensaio de absorção de água ilustrado na fig. 1a) e a cristalização dos sais no interior do meio poroso resultante da secagem (ensaio ilustrado na fig. 1b).

O coeficiente de absorção de água por capilaridade não traduz, no entanto, unicamente a cinética de imbibição mas também a porosidade do meio, pelo que ALVES *et al.* (1996) propõem um coeficiente de capilaridade de variação de massa corrigido pela porosidade. Durante os ensaios de secagem interessa sobretudo a determinação da saturação crítica, correspondente ao momento em que acaba o troço linear de secagem e que indica que a evaporação das soluções passa a ser feito do interior do meio poroso. Para além das características do meio poroso, as condições climáticas afectam o valor da saturação crítica, observando-se o aumento deste parâmetro pela diminuição da humidade relativa (HAMMECKER, 1993; ALVES, 1997) ou pela acção da circulação de vento (HAMMECKER, 1993), condições que, desta forma, favorecem os processos da deterioração.

A cristalização dos sais pode traduzir-se frequentemente em formas de deterioração (patologias) erosivas da superfície da pedra (que podem atingir vários centímetros), como sejam desagregação granular, placas, escamas, etc. Algumas dessas patologias, em pedras graníticas da cidade de Braga, são ilustradas na figura 2. Para além destas transformações da superfície da pedra, GAMA (2001) menciona a contribuição dos sais solúveis para o descolamento de placas de rochas ornamentais. Em algumas situações o avanço da erosão poderá levar mesmo ao desaparecimento de elementos arquitectónicos.

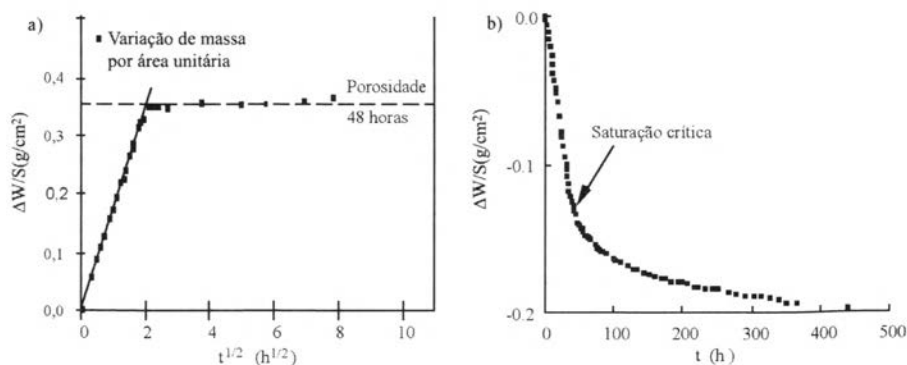


Fig. 1 – Ensaio de imbibição capilar (a) e secagem (b), com indicação do ponto de saturação crítica.

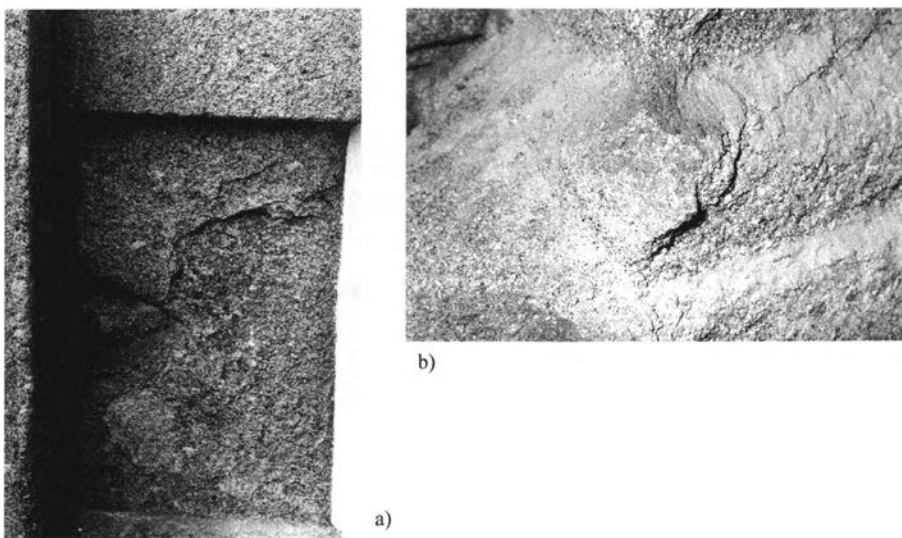


Fig. 2 – Aspectos da deterioração erosiva associada com contaminação salina em pedras graníticas de monumentos da cidade de Braga: a) placas e erosão de pormenores decorativos (Museu dos Biscainhos); b) desagregação granular (Edifício da Assembleia Distrital).

Entre as características que influenciam a intensidade da deterioração física dos materiais porosos pela cristalização dos sais são referidas a pressão de cristalização, associada com o tipo de sal (GOUDIE & VILES, 1997; LA IGLESIA *et al.*, 1997; SCHERER, 1999) e com a sua morfologia (SCHERER, 1999; THEOULAKIS & MOROPOULOU, 1999); as pressões associadas com a distribuição dimensional dos poros (SCHERER, 1999) e ainda as condições que controlam o balanço hídrico (HAMMECKER, 1993; TAKAHASHI *et al.*, 1994). RODRIGUEZ-NAVARRO & DOEHNE (1999) salientam a importância das estruturas de porosidade por ser nos poros mais pequenos que vão ocorrer as situações de maior sobressaturação das soluções. THEOULAKIS & MOROPOULOU (1999) observaram a associação da deterioração erosiva com a formação de cristais colunares de halite nos poros das rochas nas zonas com menores teores de humidade. Existem ainda investigações que sugerem que a presença de soluções salinas no meio poroso das rochas pode provocar uma diminuição da resistência mecânica destas (FENG *et al.*, 2001) por reacções químicas que implicam a redução da energia superficial associada com o início e propagação das fracturas.

As argamassas e tijolos, como materiais porosos que são, são também afectados pela cristalização dos sais. A deterioração das argamassas pode provocar a degradação dos rebocos e, conseqüentemente, ter efeitos fortemente penalizantes quando, por exemplo, as argamassas são suporte de painéis de azulejos (fig. 3).

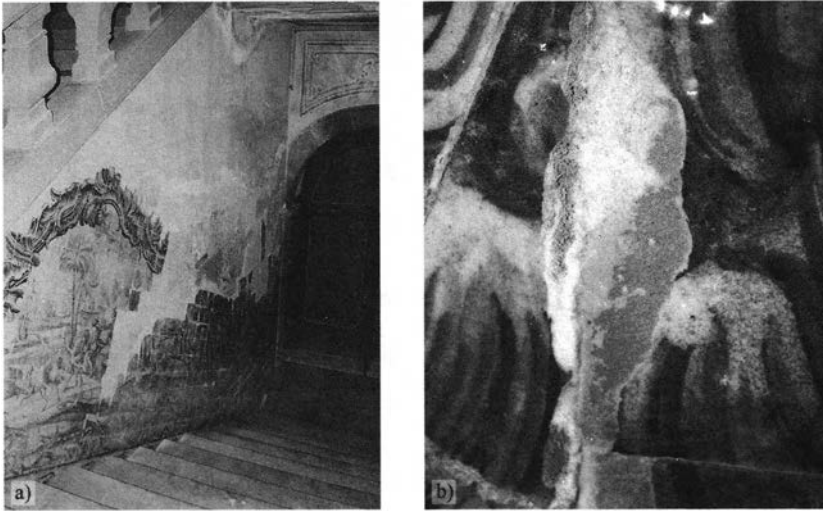


Fig. 3 – Deterioração de painéis de azulejos no Palácio do Raio (Braga) associada com contaminação salina: a) erosão da argamassa de suporte de azulejos associada com eflorescências de niter (KNO_3); b) erosão do vidrado e eflorescências de niter.

Um dos problemas mais frequentes nos betões (LEA, 1970) é a formação de ettringite – $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$, associada com a contaminação do betão com sulfatos exteriores (ou interiores) ao mesmo. A cristalização de sais pode provocar acções físicas mais extremas, como por exemplo o levantamento e fracturação de lajes de betão resultante da cristalização de sulfatos (gesso e ettringite) por alteração de aterros com sedimentos enriquecidos em pirite (BALLIVY *et al.*, 2002). A contaminação alcalina contribui frequentemente para a deterioração do betão através das famosas reacções álcali – agregado (LEA, 1970; SILVA, 1996).

Dentro dos efeitos da contaminação salina em argamassas é ainda possível admitir possíveis efeitos químicos de transformação, nomeadamente a formação de sais pela reacção entre soluções salinas e os compostos das argamassas (GURRERA *et al.*, 1994; ALVES & SEQUEIRA BRAGA, 2000). Outro curioso exemplo da acção química da poluição salina em materiais porosos é a deterioração em meio salino do marfim, nomeadamente da sua componente orgânica (GODFREY *et al.*, 2000).

Para além da deterioração erosiva, a contaminação salina pode também contribuir para a deterioração cromática dos materiais, pela formação de depósitos com uma cor diferente (na maior parte das situações pela sua cor esbranquiçada, mas também se devem incluir aqui as crostas negras). LEA (1970) menciona também a possibilidade de formação de manchas acastanhadas ou amareladas nos calcários pela acção de sais alcalinos. Na figura 4 é apresentado um exemplo de formação de manchas concêntricas em pedras calcárias, associadas com infiltrações e onde foi identificado um sulfato alcalino (arcanite – K_2SO_4).

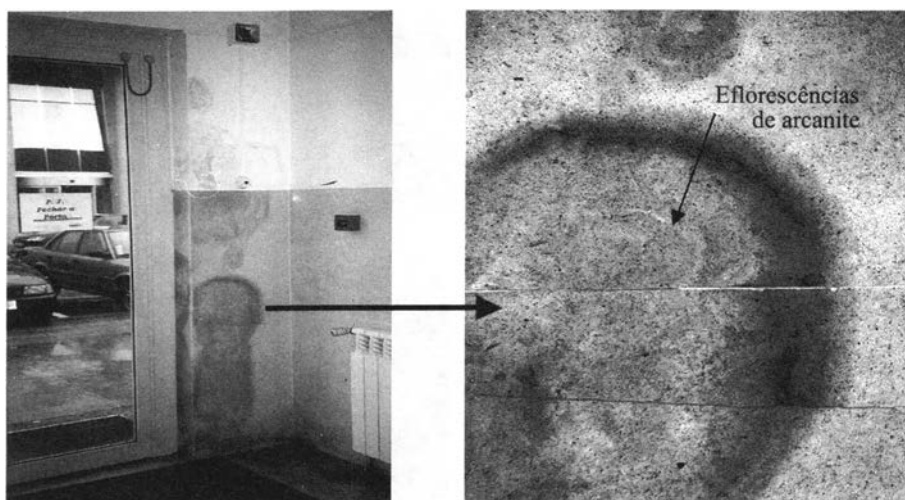


Fig. 4 – Manchas acastanhadas e eflorações de arcanite (K_2SO_4) no Departamento de Ciência Política da Escola de Economia e Gestão, Campus de Gualtar, Universidade do Minho.

PINTURAS E OUTROS REVESTIMENTOS

O efeito dos sais solúveis nas pinturas é sobretudo o resultado das características de impermeabilidade das pinturas e da cristalização dos sais no substrato, provocando a queda da pintura. Este efeito da cristalização na interface pintura-substrato torna-se ainda mais pernicioso quando ocorrem ciclos de cristalização, resultantes de ciclos de variação de humidade relativa e temperatura ambientais (ARNOLD & ZEHNDER, 1989) ou da migração periódica de soluções associada com eventos pluviométricos (ALVES & SEQUEIRA BRAGA, 2000). Em edifícios recentes observa-se frequentemente, quando acontecem infiltrações de água, a formação de sulfatos alcalinos, sobretudo de thenardite, que provocam a queda da pintura e em ocasiões a erosão da própria argamassa (fig. 5). A frequente utilização de sulfato de cálcio no acabamento de rebocos parece constituir uma possível contribuição para a formação destes sulfatos.

Os sais podem ainda afectar outros tipos de revestimentos, como por exemplo o vidro de azulejos (Pessoa *et al.*, 1996; Fig. 3b deste trabalho), se bem que os presentes autores tenham observado situações de cristalização de sais em fracturas do vidro dos azulejos sem que este fenómeno provoque a erosão do vidro. Os revestimentos asfálticos de estradas também podem sofrer erosão por acção da cristalização dos sais (Goudie & Viles, 1997).

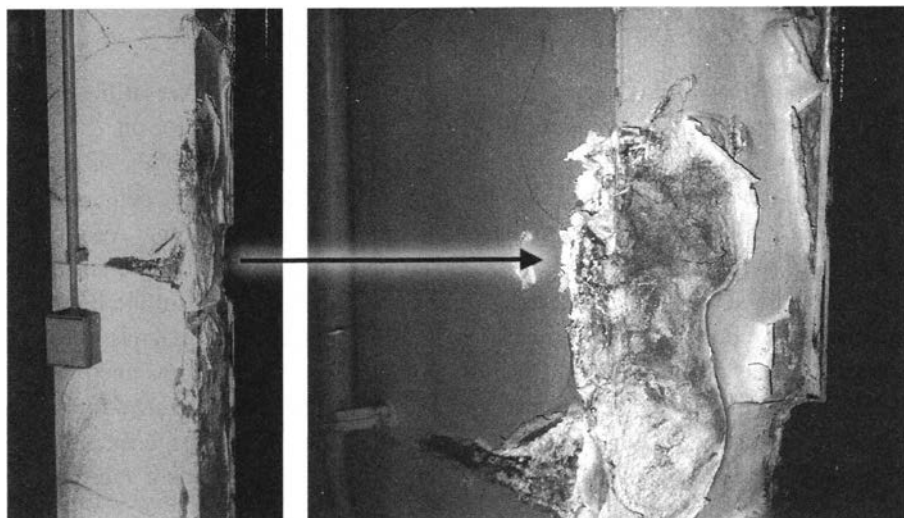


Fig. 5 – Deterioração de pinturas e de argamassas de reboco em instalações do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho (Braga) associada com a formação de eflorescências de thenardite.

MATERIAIS METÁLICOS

Os efeitos da contaminação salina em elementos metálicos decorrem de reacções químicas associadas com cloretos, sulfatos (DE LA FUENTE *et al.*, 2003) e carbonatos (POLLARD *et al.*, 1990). Um efeito famoso da contaminação salina é o da corrosão do betão armado por cloretos, processo que depende da difusividade do cloreto livre (não fixado pela pasta de cimento) pelo cimento, que é afectada pelas características dos inertes (quantidade, dimensões e características superficiais), as estruturas de porosidade, a temperatura e a composição das soluções do meio poroso do cimento (XI & BAZANT, 1999). É também conhecido que os elementos férreos aplicados em janelas e portas de zonas costeiras são bastante afectados pelos cloretos.

ESTRATÉGIAS DE PREVENÇÃO E REMEDIAÇÃO

Seguidamente são mencionadas algumas estratégias para combater o problema da contaminação salina em materiais de construção. São considerados exemplos de dois tipos de estratégias: preventivas e remediativas (que em algumas situações poderão ser consideradas simplesmente paliativas), baseadas nas características da contaminação salina anteriormente mencionadas.

PREVENÇÃO

A identificação das causas da contaminação salina pode ser utilizada em decisões de planeamento e construção de infra-estruturas futuras (GOUDIE & VILES, 1997), constituindo assim uma medida preventiva de base para evitar os efeitos da contaminação salina. Outras medidas preventivas podem passar pela selecção de materiais com menores contribuições para a contaminação salina. Assim, dos estudos de BALLIVY *et al.* (2002) ressalta o possível interesse de evitar a utilização de sedimentos com pirite em aterros. A possível contribuição do sulfato de cálcio aplicado em rebocos para a formação de eflorescências lança algumas questões sobre a utilização deste material. DONDI *et al.* (1999) definem teores máximos de iões (patamares de risco) na fracção solúvel de tijolos para evitar a formação posterior de eflorescências. No âmbito das reacções álcali – sílica, é interessante mencionar o trabalho de MALVAR *et al.* (2001) onde se estima que a substituição de cimento por determinados aditivos (por exemplo certo tipo de cinzas volantes) poderia significar poupanças totais na economia americana acima de mil milhões de dólares/ano. Um outro exemplo de estratégia preventiva será o zonamento de ocorrência de formas de sílica potencialmente reactivas apresentado por SILVA (1996).

Dentro da selecção de materiais pode incluir-se a escolha de materiais mais resistentes aos efeitos da contaminação salina, pelo que é de destacar o interesse do estudo de construções antigas por serem fontes inestimáveis de informação para avaliar a durabilidade dos materiais em condições de aplicação reais.

Tendo em consideração que a escolha dos materiais (nomeadamente dos materiais pétreos) é fortemente influenciado por critérios estéticos, poderão ser enquadrado dentro das estratégias preventivas processos de melhoramento dos materiais, como sejam o pré-tratamento com produtos hidrófugos (para evitar o acesso da humidade) ou consolidantes (para melhorar as características físicas). Podem ser também preparadas argamassas mais apropriadas para os ambientes com contaminação salina, seja pela utilização de aditivos com reactividade pozolânica (BESSA PINTO & SANTOS SILVA, 2003; BOSC *et al.*, 1993) que permitem obter argamassas mais resistentes, seja modificação das características de porosidade das argamassas. Outro exemplo que pode ser citado é escolha da temperatura de cozedura dos tijolos, que, de acordo com CULTRONE *et al.* (2000), pode influenciar a resistência destes aos efeitos da contaminação salina.

REMEDIAÇÃO

Consideram-se aqui estratégias e medidas que podem ser aplicadas em objectos já afectados pela contaminação salina. Nesta situação alguns cuidados são necessários, uma vez que, por exemplo, aplicação de produtos hidrofugantes e consolidantes em materiais já afectados pela contaminação salina é um processo

complexo uma vez que pode provocar maior deterioração, ao favorecer a cristalização dos sais no interior do meio poroso (e.g., GONÇALVES, 2003).

Desde logo uma das principais estratégias consistirá na remoção dos sais (dessalinização). Algumas peças possuem dimensões tais que permitem ensaiar a dessalinização pela simples imersão em água destilada (PESSOA *et al.*, 1996; KOOB & NG, 2000), sendo necessário em alguns objectos, nomeadamente cerâmicos ter cuidado para evitar que a imersão prejudique a estabilidade do objecto. Em outros objectos pode ser ensaiada a dessalinização pela aplicação de pastas com produtos que permitam extrair os sais em solução (e.g. ZEHNDER, 1996). Alguns autores admitem que os processos de dessalinização húmida podem contribuir para a mobilização e precipitação de sais como o gesso devida à extracção selectiva de alguns iões (ZEHNDER, 1996), implicando, portanto efeitos negativos. Outras técnicas utilizadas para a dessalinização baseiam-se na aplicação de campos eléctricos, encontrando-se exemplos de aplicação para a dessalinização de artefactos arqueológicos de ferro (CARLIN *et al.*, 2001) e de betão armado (VELIVASAKIS *et al.*, 1998). Saliente-se que as operações de dessalinização serão soluções temporais se não forem acompanhadas da efectiva remoção da fonte de contaminação. A remoção das fontes de contaminação só será possível pelo reconhecimento adequado das fontes de contaminação e podem incluir o rebaixamento do nível freático contaminante (GOUDIE & VILES, 1997), operações de drenagem de solos ou de impermeabilização.

Em certas condições o controlo climático pode ser utilizado para evitar os ciclos de dissolução-cristalização dos sais (ARNOLD & ZEHNDER, 1989; WÜST & SCHLÜCHTER, 2000). Este tipo de medida poderá não ser efectiva se o processo de deterioração estiver associado com mobilizações das soluções por infiltrações periódicas como as mencionadas por ALVES & SEQUEIRA BRAGA (2000).

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento dos estudos da contaminação salina tem sido suportado por vários projectos e prestações de serviços, sendo presentemente suportadas pelo projecto POCTI/1999/CTA 35600 da FCT, Programa Operacional Ciência Tecnologia e Inovação, participado pelo fundo comunitário FEDER.

BIBLIOGRAFIA

- AIRES-BARROS, L. (2001) – As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias. Ed. Int. Português do Património Arquitectónico, 535 p. (2 vol.).
- ALVES, C.A.S. (1997) – Estudo da deterioração de materiais graníticos aplicados em monumentos da cidade de Braga (Norte de Portugal). Implicações na Conservação do Património Construído. Tese de Doutoramento, Univ. Minho, 291 p.

- ALVES, C.A.S., HAMMECKER, C. & SEQUEIRA BRAGA, M.A. (1996) – Water transfer and decay of granitic stones in monuments. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 323, série IIa, n° 5, 397-402.
- ALVES, C.A.S. & SEQUEIRA BRAGA, M.A. (2000) – *Decay effects associated with soluble salts on granite buildings of Braga (NW Portugal)*. Em: *Environmental Mineralogy: Microbial Interactions, Anthropogenic Influences, Contaminated Land and Waste Management*, Mineralogical Society of Great Britain & Ireland, Book Series, cap. 9, 181-199.
- ARNOLD, A. e ZEHNDER, K. (1989) – Salt weathering on monuments. 1st Intern. Symp. The conservation of monuments in the Mediterranean Basin, F. Zezza (ed.), Bari, 31-58
- BALLIVY, G., RIVARD, P., PÉPIN, C., TANGUAY, M.G., & DION, A. (2002) – Damages to residential buildings related to pyritic rockfills: field results of an investigation on the south shore of Montreal, Quebec, Canada. *Can. J. Civ. Eng.* 29, 246-255.
- BESSA PINTO, J. & SANTOS SILVA, A. (2003) – Emprego de pozolanas em argamassas de cal. Os exemplos dos fortes de S. Julião da Barra e da Ericeira. 3º ENCORE, Lisboa, v. 1, 337-344.
- BOSC, J.L., CHABANNET, M., PERA, J., AUGER, F. (1993) – Altérations des mortiers de ciment placés dans une ambiance aérienne salie: Intérêt de l'ajout de metakaolin. *International RILEM/UNESCO Congress 'Conservation of Stone and Other Materials'*, v. I, 67-74
- CARLIN, W., KEITH, D. & RODRIGUEZ, J. (2001) – Less is more: Measure of chloride removal rate from wrought iron artifacts during electrolysis. *Studies in Conservation*, v. 46, 1, 68-76.
- CULTRONE, G., DE LA TORRE, M.J., SEBASTIAN, E.M., CAZALLA, O. & RODRIGUEZ-NAVARRO, C. (2000) – Behavior of Brick Samples in Aggressive Environments. *Water, Air, and Soil Pollution*, 119, 191-207.
- DE LA FUENTE, D., CHICO, B. & MORCILLO, M. (2003) – Soluble salts and the durability of paint coatings: a new laboratory method for dosing chlorides and sulphates over steel surfaces. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, v. 50, 3, 208-216.
- DELGADO RODRIGUES, J. (1979) – Some problems raised by the study of the weathering of igneous rocks. *Memória n° 517*, ed. LNEC, 15 p.
- DONDI, M., FABBRI, B., GUARINI, G., MARSIGLI, M., & MINGAZZINI, C. (1999) – Sali solubili ed efflorescenze nei laterizi: proposta di uno schema di previsione del rischio di manifestazioni efflorescenti. Disponível em: <http://www.laterizio.it/scriptcode/loadPage.asp?IDkey=efflo>
- FENF, X-T, CHEN, S. & LI, S. (2001) – Effects of water chemistry on microcracking and compressive strength of granite. *Int. Journal Rock Mech. & Mining*, 38, 557-568.
- GAMA, H.B. (2001) – Principais patologias associadas ao uso de rochas ornamentais. I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, Salvador Baía, 20-23.
- GODFREY, I.M., GHISALBERTI, E.L., BENG, E.W., BYRNE, L.T. & RICHARDSON, G.W. (2000) – The analysis of ivory from a marine environment. *Studies in Conservation*, v. 47, 21, 9-45.
- GONÇALVES, T.D. (2003) – Colocação a descoberto de alvenarias antigas originalmente revestidas e sujeitas à acção de sais solúveis. Utilização de hidrófugos de superfície. 3º ENCORE, Lisboa, v. 1, 395-403.
- GOUDIE, A. & VILES, H. (1997) – *Salt Weathering Hazards*. John Wiley & Sons, 241 p.
- GURRERA, M.A., RAVENTOS, X.D., BOU, V.E., PEREZ, J.L.P., VIÑAS, R.R., and HORTA, A.V. (1994) – Degradation forms and weathering mechanisms in the Berà Arch (Terragona, Spain). 3rd. Int. Symp.: *The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, V. Fassina, H. Ott & F. Zezza (eds.), Veneza, 673-679.
- HAMMECKER, C. (1993) – Importance des transferts d'eau dans la dégradation des pierres en oeuvre. Tese de Doutoramento, Université Louis Pasteur, 254 p.

- KOOB, S.P. & NG, W.Y. (2000) – The desalination of ceramics using a semi-automated continuous washing station. *Studies in Conservation*, v. 45, 4, 265-273.
- LA IGLESIA, A., GONZALEZ, V., LÓPEZ-ACEVEDO, V. and VIEDMA, C. (1997) – Salt crystallization in porous construction materials. I - Estimation of crystallization pressure. *J. Crystal Growth*, 177, 111-118.
- LEA, F. (1970) – *The Chemistry of Cement and Concrete*. E. Arnold Publishers, 727 p.
- MALVAR, L.J., CLINE, G.D., BURKE, D.F., ROLLINGS, R., SHERMAN, T.W. & GREENE, J. (2001) – Alkali-Silica Reaction Mitigation State-of-the-Art. Naval Facilities Engineering Service Center, Port Hueneme, California 93043-4370, Technical Report TR-2195-SHR.
- PESSOA, J.C., ANTUNES, J.L.F., FIGUEIREDO, M.O., & FORTES, M.A. (1996) – Removal and analysis of soluble salts from ancient tiles. *Studies in Conservation*, 41, 153-160.
- POLLARD, A.M., THOMAS, R.G., & WILLIAMS, P.A. (1990) – Mineralogical changes arising from the use of aqueous sodium carbonate solutions for the treatment of archaeological objects. *Studies in Conservation*, 35, 148-152.
- RODRIGUEZ-NAVARRO, C. & DOEHNE, E. (1999) – Salt weathering: Influence of evaporation rate, supersaturation and crystallization pattern. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, 191-209.
- SILVA (1996) – Os materiais Geológicos e o betão – Aspectos particulares da alteração em Portugal continental. ITB 17, Ed. LNEC, 96 p.
- SCHERER, G. (1999) – Crystallization in pores. *Cement and Concrete Research*, 29, 1347-1358.
- TAKAHASHI, K., SUZUKI, T. & MATSUKURA (1994) – Erosion rates of a Sandstone used for a Masonry Bridge Pier in the Coastal Spray Zone. Em: *Rock Weathering and Landform Evolution*, D.A. Robinson, R.B.G. Williams (eds.), 175-192.
- THEOULAKIS, P. & MOROPOULOU, A. (1999) – Salt Crystal Growth as Weathering Mechanism of Porous Stone on Historic Masonry. *Journal of Porous Materials* 6, 345-358.
- VELIVASAKIS, E.E., HENRIKSEN, S.K. & WHITMORE, D. (1998) – Chloride extraction and realkalinization of reinforced concrete stop steel corrosion. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, v. 12, 2, 77-84.
- WINKLER, E.M. (1994) – *Stone in architecture. Properties. Durability*. Springer-Verlag, 313 p.
- WÜST, R.A.J. & SCHLÜCHTER, C. (2000) – The Origin of Soluble Salts in Rocks of the Thebes Mountains, Egypt: The Damage Potential to Ancient Egyptian Wall Art. *Journal of Archaeological Science*, 27, 1161-1172.
- XI, Y. & BAZANT, Z.P. (1999) – Modeling chloride penetration in saturated concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 11, 1, 58-65.
- ZEHNDER, K. (1996) – Gypsum efflorescences in the zone of rising damp. Monitoring of slow decay process caused by crystallizing salts on wall paintings. 8th Int. Congr. on Deterior. and Conserv. of Stone, Berlin, 1669-1678.