

AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE TELHAS CERÂMICAS ATRAVÉS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ULTRA-SONS

Cláudio Cruz, M. Rosário Veiga, Victor M. Ferreira

LNEC/DM, LNEC/DED, Universidade de Aveiro/CICECO
Av. Brasil 101, 1700-066 LISBOA, Av. Brasil 101, 1700-066 LISBOA,
Campus de Santiago, 3810-193 AVEIRO
e-mail: ccruz@lnec.pt, rveiga@lnec.pt, victorf@ua.pt

Resumo

Nesta comunicação são apresentados os ensaios de velocidade de transmissão de ultra-sons realizados sobre provetes de telhas antes e após serem sujeitos a ensaios cíclicos em câmara de nevoeiro salino. Estes ensaios fazem parte de um estudo sobre durabilidade de telhas cerâmicas em ambiente marítimo, situação em que têm ocorrido casos de degradação acelerada. A análise dos resultados permitiu concluir que estes ensaios não destrutivos poderão ser adequados para avaliar a degradação provocada pelo nevoeiro salino, em complemento da inspeção visual.

Palavras-chave: telhas cerâmicas, durabilidade, nevoeiro salino, propagação de ultra-sons.

1 Introdução

Em Portugal têm-se verificado casos de degradação acelerada de telhas cerâmicas localizadas no litoral ocidental e nos Açores, que devem resultar da exposição ao ambiente marítimo, que assim se torna o factor condicionante da sua durabilidade. Este fenómeno parece estar relacionado com a cristalização de sais solúveis, uma das principais causas de destruição dos materiais porosos de construção [1]. Encontra-se em curso um estudo que pretende identificar os parâmetros de fabrico e as características das telhas deles decorrentes que condicionam essa degradação [2]. Este estudo compreende a caracterização de diversos tipos de telhas cerâmicas, a realização de ensaios cíclicos em câmara de nevoeiro salino, a avaliação da degradação provocada pelos ensaios acelerados e a comparação com a degradação sofrida por telhas em exposição natural.

Nesta comunicação são descritos os ensaios cíclicos de envelhecimento acelerado realizados, sobre provetes de telhas, em câmara de nevoeiro salino. Também são apresentados os efeitos do envelhecimento, através dos resultados da observação visual, da variação de massa e dos ensaios de velocidade de transmissão de ultra-sons realizados antes e após os ensaios cíclicos.

2 Materiais e procedimentos de ensaio

2.1 Provetes

De cada telha foram obtidos cinco provetes, por corte transversal com serra de disco (Figura 1). Para os ensaios foram usados, de preferência, os provetes C, da zona média das telhas, com comprimento correspondente à largura das telhas e com cerca de 9 cm de largura. As faces de corte dos provetes foram seladas com uma resina epoxi.

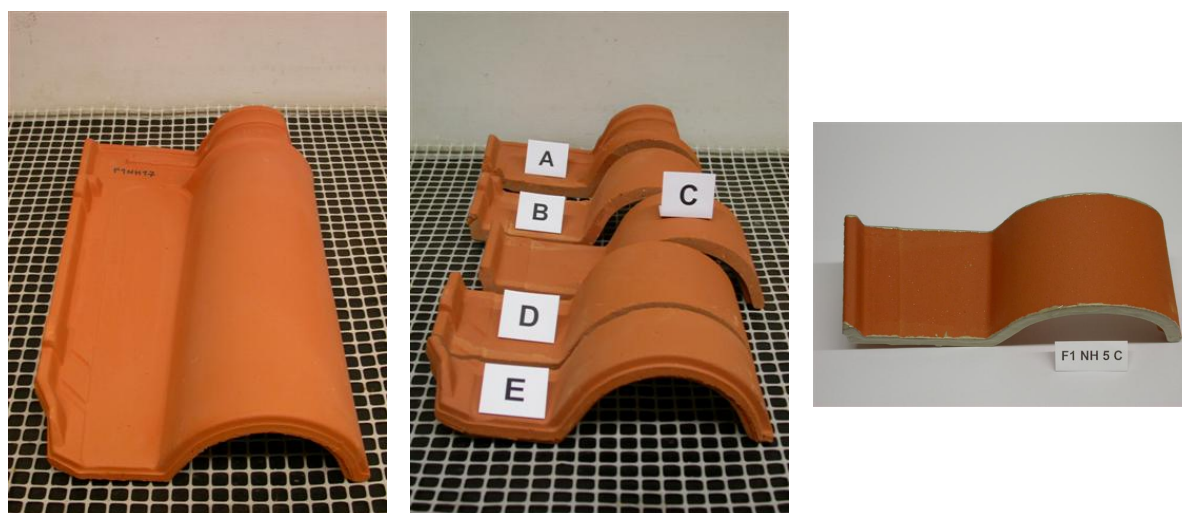


Figura 1 – Tipo de provetes ensaiados.

Foram utilizadas telhas de dois fabricantes (F1 e F2). Do fabricante 1 foram estudados três tipos de telhas dum mesmo modelo e do fabricante 2, três tipos de telhas do modelo 1, um tipo do modelo 2 e um tipo do modelo 3:

F1 NH - fabricante 1, telhas vermelhas não hidrofugadas

F1 B - fabricante 1, telhas brancas não hidrofugadas

F1 H - fabricante 1, telhas vermelhas hidrofugadas

F2 NH - fabricante 2, modelo 1, telhas vermelhas não hidrofugadas

F2 B - fabricante 2, modelo 1, telhas brancas não hidrofugadas

F2 H - fabricante 2, modelo 1, telhas vermelhas hidrofugadas

F2 T2 NH - fabricante 2, modelo 2, telhas vermelhas não hidrofugadas

F2 T3 NH - fabricante 2, modelo 3, telhas vermelhas não hidrofugadas

2.2 Ensaios de envelhecimento acelerado

Os ensaios de envelhecimento acelerado foram baseados na norma europeia EN 14147 [3], com algumas adaptações. Os ensaios foram realizados numa câmara de nevoeiro salino onde os provetes foram submetidos a ciclos de nevoeiro seguido de secagem (Figura 2). Durante os ciclos a temperatura da câmara esteve programada para 35°C. O nevoeiro salino foi obtido por aspensão de uma solução salina com concentração de 110 g de cloreto de sódio para 1 litro de água desionizada. Os resultados

de dois ensaios preliminares, com ciclos de 48 h (10 h de nevoeiro + 38 h de secagem) e de 24 h (8 h + 16 h) permitiram a selecção de ciclos de 24 h para os ensaios definitivos.

Para cada tipo de telha foram submetidos um ou dois provetes a 10 ciclos, um ou dois provetes a 20 ciclos e três ou quatro provetes a 30 ciclos.

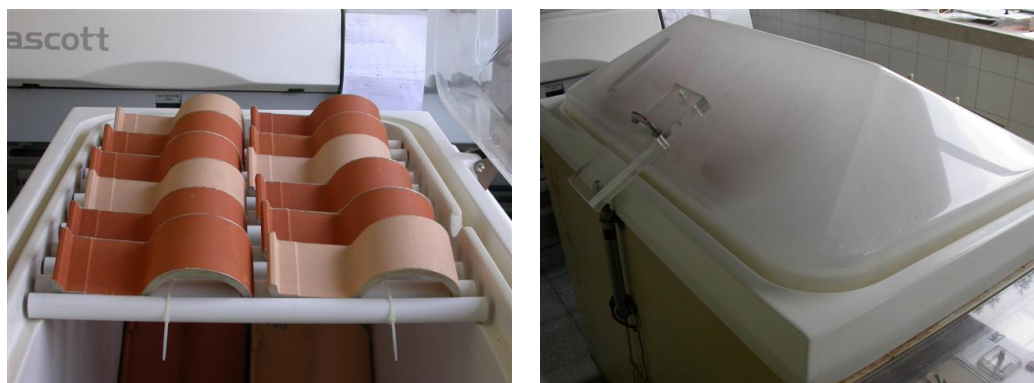


Figura 2 – Provetes na câmara antes do ensaio e aspecto da câmara durante o nevoeiro.

2.3 Ensaios não destrutivos para caracterização dos provetes

Os provetes foram secos à temperatura de 60°C em estufa ventilada, até massa constante, para obtenção da massa seca inicial, e de seguida foram sujeitos ao ensaio de propagação de ultra-sons. Estes foram dois dos ensaios não-destrutivos realizados para caracterização dos provetes e cujos resultados serviram também de base para comparação com os resultados obtidos após ensaios de degradação acelerada.

No ensaio de propagação de ultra-sons foram usados transdutores exponenciais acoplados ao equipamento modelo BP7 da STEINKAMP, apresentado na Figura 3. O ensaio foi realizado segundo o método de transmissão indirecta descrito na norma europeia EN 14579 [4]. Neste método os transdutores são colocados na mesma face do provete. O transmissor de ultra-sons é colocado na origem e o receptor é colocado em vários pontos ao longo de uma linha da superfície, sendo realizadas leituras em cada ponto. Os transdutores foram colocados de modo a fazer um ângulo de cerca de 45° com a superfície do provete (Figura 3).

Os provetes utilizados permitiram fazer 9 medições, com os transdutores afastados de 1 a 9 cm. A cada distância foi medido o tempo de transmissão. A velocidade de transmissão de ultra-sons é a inclinação da recta que melhor se aproxima dos pontos 1 a 9, marcados em gráficos distância-tempo.

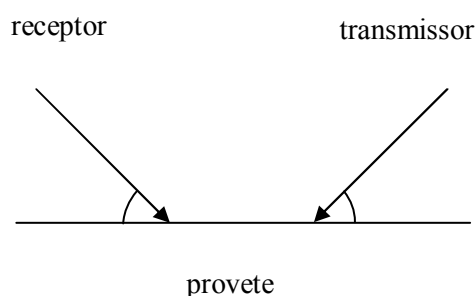
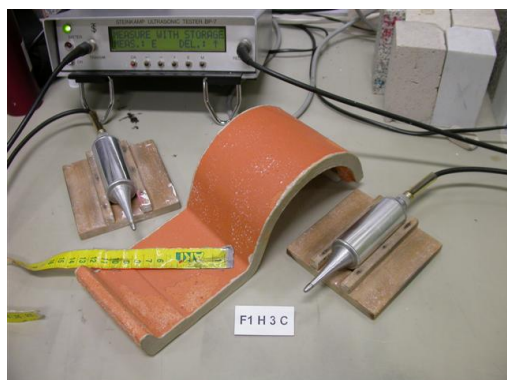


Figura 3 – Aparelho e esquema para determinação da velocidade de propagação de ultra-sons.

2.4 Ensaios não destrutivos para avaliação da degradação provocada pelos ensaios de envelhecimento acelerado

Foram realizados vários ensaios não destrutivos para tentar avaliar a degradação provocada pelos ensaios de envelhecimento acelerado. São apresentados os ensaios de inspeção visual, variação de massa e velocidade de propagação de ultra-sons.

Durante e após os ensaios de envelhecimento os provetes foram inspeccionados visualmente. As formas de alteração e degradação observadas foram classificadas de acordo com a terminologia adoptada para as superfícies arquitectónicas de pedra e de reboco [5].

Após os ensaios cíclicos, e antes da dessalinização, os provetes foram secos em estufa à temperatura de 60°C até massa constante e foram realizados ensaios de propagação de ultra-sons.

Após dessalinização por imersões sucessivas em água desmineralizada, os provetes foram de novo secos a 60° C até massa constante e foi calculada a variação de massa em relação à massa seca inicial. Foram também realizados ensaios de propagação de ultra-sons para comparação com os resultados obtidos anteriormente e para avaliar a sensibilidade deste ensaio à degradação sofrida pelos provetes.

3 Resultados

3.1 Inspeção visual

Na Tabela 1 são apresentadas as formas de alteração e degradação observadas nos diversos tipos de provetes e alguns exemplos.

Os ensaios de envelhecimento acelerado causaram diferentes tipos e níveis de degradação nos oito tipos de provetes ensaiados. Os provetes não hidrofugados, brancos e vermelhos, de ambos os fabricantes apresentaram níveis baixos ou médios de degradação, dos tipos picamento, desagregação granular e escamação. Os provetes brancos aparentaram maior grau de degradação.

A maior parte dos provetes hidrofugados não apresentavam degradação visível após o número de ciclos a que foram sujeitos, no entanto alguns provetes do fabricante 1 sofreram forte degradação, superior mesmo à de todos os outros tipos de provetes. Os provetes hidrofugadas do fabricante 2 aparentemente são mais resistentes ao envelhecimento do que os hidrofugados do fabricante 1.

3.2 Variação de massa

Na Tabela 2 é apresentada a variação de massa dos provetes em percentagem da massa inicial. De um modo geral, as variações de massa são muito reduzidas ou nulas, não quantificando a degradação observada. No entanto nos provetes brancos de ambos os fabricantes e em alguns provetes hidrofugados do fabricante 1, casos em que a degradação foi maior, a perda de massa já tem alguma expressão.

Tabela 1 – Formas de alteração e degradação.








Tipo de provetes	Degradação	Exemplos	
F1 NH	Picamento Desagregação granular		
F1 B	Picamento Desagregação granular Escamação		
F1 H	Sem degradação Bolha Empolamento		
F2 NH	Picamento Desagregação granular		
F2 B	Picamento Desagregação granular Escamação		
F2 H	Sem degradação	---	
F2 T2 NH e F2 T3 NH	Picamento Desagregação granular Escamação		

Tabela 2 –Variações de massa.

Número de ciclos	Fabricante 1		Fabricante 2	
	Tipo de provetes	Variação de massa [%]	Tipo de provetes	Variação de massa [%]
10	F1NH	-0.10	F2NH	+0.03
20		-0.05		+0.11
30		-0.18 -0.09 -0.10		+0.09 +0.11 +0.12
10	F1B	-0.30	F2B	-0.22 -0.22
20		-0.31		-0.08 -0.02
30		-0.31 -0.34 -0.25		-0.58 -0.32 -0.28
10	F1H	+0.07	F2H	+0.07
20		-0.89		+0.04
30		+0.14 -3.53 +0.13		+0.06 +0.07 +0.05
10	---	---	F2T2NH	-0.05
20				0.00
30				+0.02 +0.02 +0.06
10	---	---	F2T3NH	0.00 +0.01
20				+0.06 +0.07
30				+0.01 +0.01 -0.10

3.3 Velocidade de propagação de ultra-sons

Os ensaios de ultra-sons foram efectuados sobre provetes novos e sobre provetes degradados, antes e após dessalinização. Na Tabela 3 e na Figura 4 são apresentadas as velocidades de propagação de ultra-sons em provetes do fabricante 1, na Tabela 4 e nas Figuras 5 e 6 em provetes do fabricante 2.

Tabela 3 – Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes do fabricante 1.

Tipo de provetes	Antes do ensaio de envelhecimento [m/s]	Após ciclos de nevoeiro salino / secagem		
		Número de ciclos	Antes da dessalinização [m/s]	Após dessalinização [m/s]
F1NH	2780	10	3065	2660
	2600	20	2910	2570
	2770	30	---	2650
	2700		---	2600
	2580		2740	2460
F1B	3100	10	3365	3160
	3330	20	3480	3200
	3270	30	---	3160
	3230		3440	3190
	3260		---	3180
F1H	2720	10	2770	2630
	2520	20	2640	2360
	2790	30	2750	2660
	2660		2840	2400
	2790		2830	2720

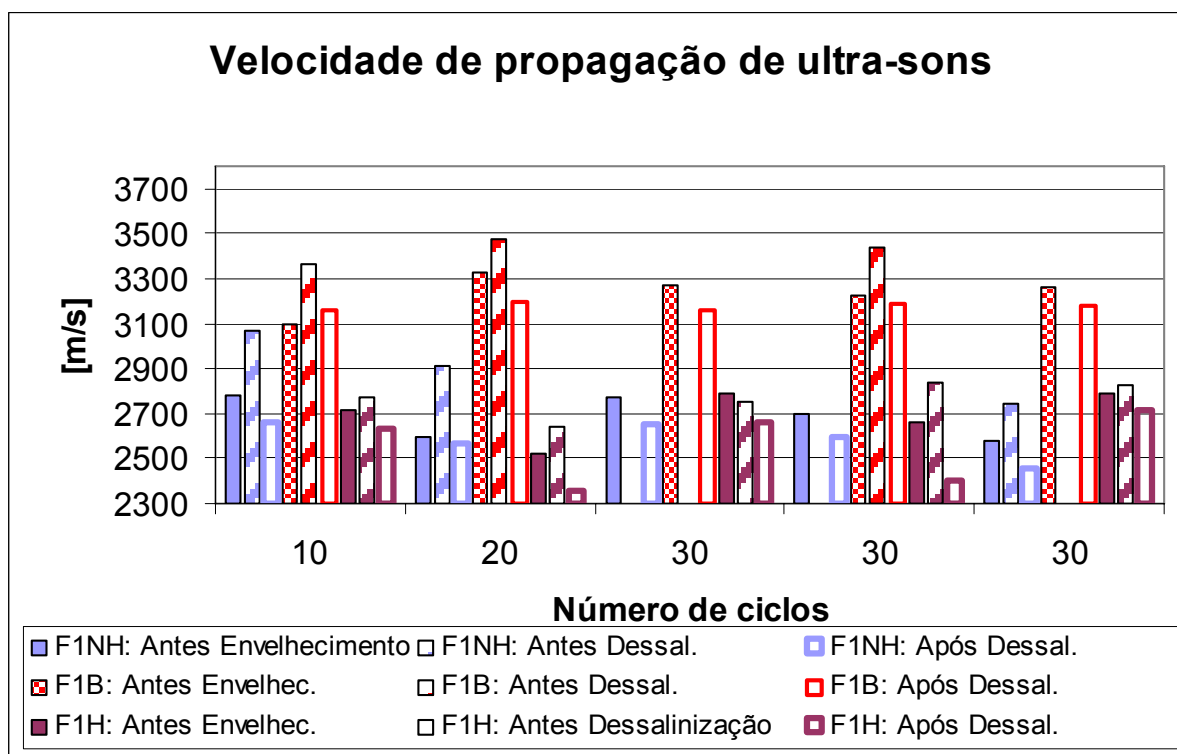


Figura 4 – Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes do fabricante 1.

Tabela 4 – Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes do fabricante 2.

Tipo de provetes	Antes do ensaio de envelhecimento [m/s]	Após ciclos de nevoeiro salino / secagem		
		Número de ciclos	Antes da dessalinização [m/s]	Após dessalinização [m/s]
F2NH	3410	10	3680	3350
	3400	20	3530	3300
	3330	30	3490	3260
	3430		3540	3280
	3350		3450	3250
F2B	3520	10	3720	3400
	3460	20	3660	3350
	3550		3730	3450
	3540	30	3750	3430
	3560		3660	3350
	3540		3740	3490
	3570		3740	3510
F2H	3340	10	3280	3370
	3350	20	3320	3340
	3320	30	3330	3310
	3350		3310	3370
	3530		3460	3450
F2T2NH	3040	10	3230	2980
	3040	20	3170	2900
	3120	30	3210	2960
	2990		3230	2990
	3080		3220	3000
F2T3NH	3420	10	3710	3380
	3430	20	3710	3380
	3380		3620	3330
	3420	30	3610	3330
	3470		3760	3420
	3410		3700	3310
	3360		3630	3320

A velocidade de transmissão de ultra-sons antes do ensaio de envelhecimento é maior nos provetes do fabricante 2, com excepção dos do modelo T2, e menor nos provetes vermelhos hidrofugados e não hidrofugados do fabricante 1. Em cada um dos fabricantes, os provetes brancos apresentam maior valor de velocidade de propagação do que os provetes vermelhos.

Em todos os provetes não hidrofugados, vermelhos ou brancos, a velocidade de ultra-sons aumenta nos provetes após os ciclos de nevoeiro salino e antes da dessalinização, face aos provetes novos.

Nos provetes hidrofugados do fabricante 1 que se degradaram, também se verificou um aumento da velocidade de ultra-sons após os ciclos e antes da dessalinização. Os que não sofreram degradação visível tiveram um aumento de velocidade muito ligeiro (em dois provetes) ou mesmo uma ligeira diminuição de velocidade (no terceiro provete sem degradação visível).

Nos provetes hidrofugados do fabricante 2, que não sofreram degradação visível, a velocidade manteve-se quase estável, com diminuição ligeira em quatro provetes e pequeno aumento no restante.

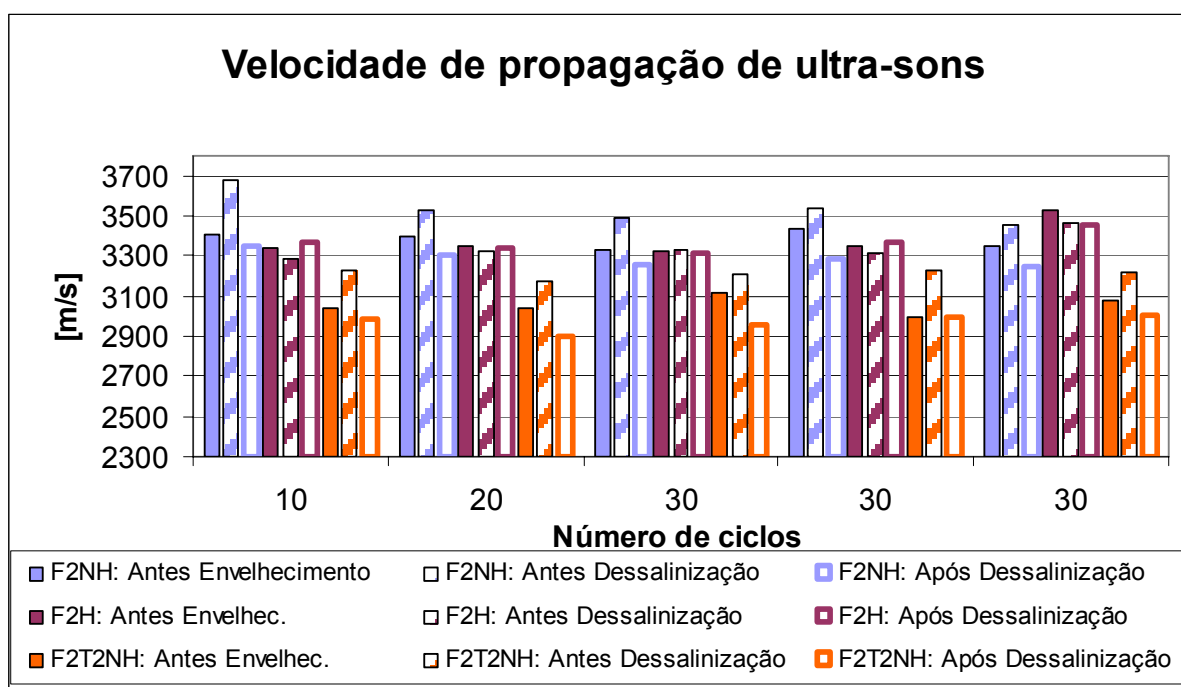


Figura 5 – Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes do fabricante 2 - grupo 1.

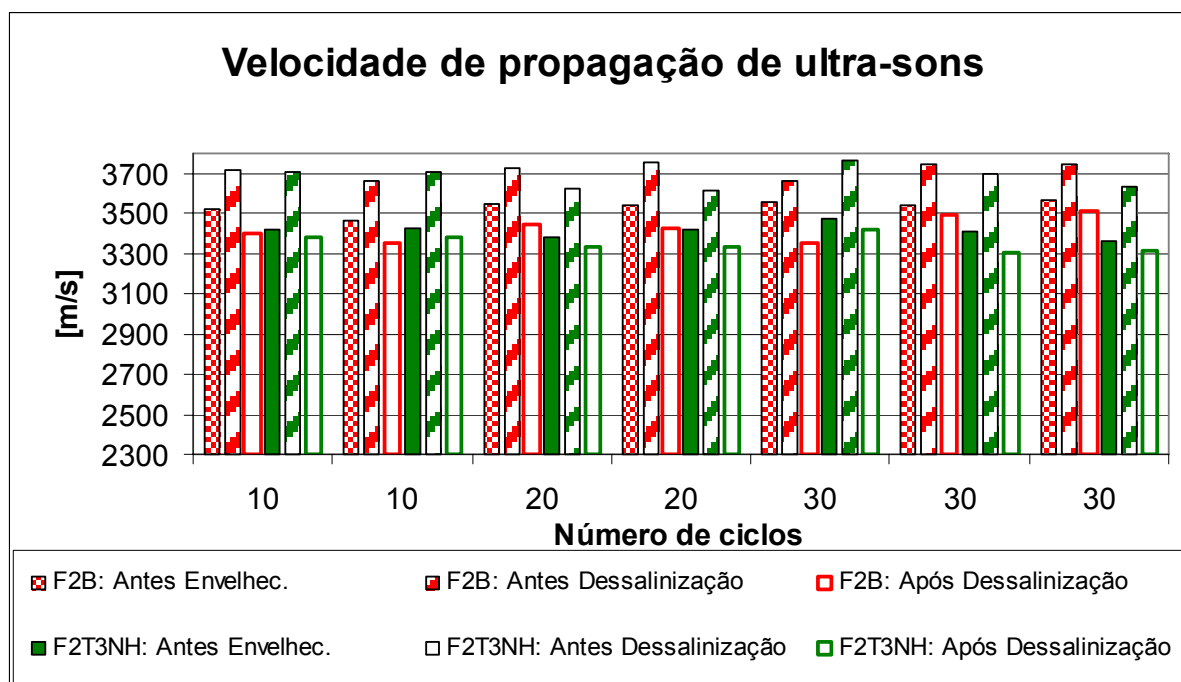


Figura 6 – Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes do fabricante 2 - grupo 2.

Após dessalinização a velocidade de transmissão de ultra-sons diminui para valores inferiores aos dos provetes novos, com excepção de um provete branco do fabricante 1, de dois provetes hidrofugados do fabricante 2 (que não sofreram degradação visível) e de um provete do modelo T2 do fabricante 2, cujas velocidades antes e após o ensaio de envelhecimento acelerado são iguais.

4 Análise de resultados

Os oito tipos de provetes ensaiados apresentaram diferentes tipos e níveis de degradação provocada pelo número máximo de trinta ciclos de ensaio de envelhecimento acelerado. O nível de degradação foi baixo ou médio na maior parte dos provetes.

Os provetes brancos tiveram um maior grau de degradação, sendo só suplantados por alguns dos provetes vermelhos hidrofugados. Estes apresentaram maior degradação porque a solução salina atingiu o seu interior e ocorreu cristalização sob a camada superficial hidrofugada, que empolou e acabou por se destacar. O mesmo poderá acontecer em serviço às telhas hidrofugadas se houver algum defeito na camada hidrofugada ou se esta perder eficácia ao longo do tempo por degradação do polímero.

A variação de massa dos provetes foi nula ou muito baixa, não conseguindo quantificar os diversos níveis de degradação atingidos, com excepção dos provetes hidrofugados que apresentaram maior degradação. Nos provetes brancos já foi possível detectar alguma perda de massa, apesar de baixa.

As diversas velocidades de transmissão de ultra-sons obtidas nos provetes novos indicam que os diversos tipos de telhas têm diferentes características físicas.

Após o ensaio acelerado e antes da dessalinização, a velocidade de transmissão de ultra-sons é maior face à dos provetes novos, nos casos em que ocorreu degradação visível. Isto pode ser devido aos cristais salinos que, ao preencherem os poros, dão maior continuidade ao material sólido, permitindo uma mais rápida propagação dos ultra-sons.

Em geral, após dessalinização, a velocidade de transmissão de ultra-sons diminuiu para valores inferiores aos dos provetes novos, possivelmente devido a alguma destruição da estrutura porosa motivada pela cristalização dos sais; no entanto não se encontrou correspondência entre os diversos níveis dessa diminuição e as diferenças de degradação visual identificadas. Uma explicação possível pode ter a ver com o facto da degradação ser mais superficial do que interna e ao perder-se parte da camada superficial alguma dessa degradação já não ser detectada pelo ensaio.

5 Conclusões

Os ensaios de laboratório em câmara de nevoeiro salino, constituídos por ciclos de humedecimento seguido de secagem, podem causar diversos níveis e tipos de alteração e degradação em diferentes tipos de telhas cerâmicas.

A inspecção visual e o ensaio de velocidade de propagação de ultra-sons parecem ser adequados para avaliar a degradação provocada pelo nevoeiro salino.

A variação de massa não quantificou os níveis mais baixos de degradação observados, no entanto houve perda de massa nos casos em que a degradação foi maior, o que leva a supor que para níveis ainda superiores de degradação já se poderão obter distintos níveis de perda de massa.

As telhas hidrofugadas resistem mais tempo ao nevoeiro salino do que as não hidrofugadas, no entanto podem sofrer maior degradação no caso da solução salina atingir o seu interior.

O ensaio de ultra-sons, não destrutivo e realizável *in situ*, conjugado com uma observação cuidada, pode dar algumas indicações acerca do estado de telhas, pelo menos a título comparativo. Com efeito, nos ensaios *in situ* realizados em tempo seco é previsível que as telhas com velocidades de ultra-sons mais elevadas correspondam às que contêm maiores teores de sais cristalizados. Pelo contrário, após chuvas fortes, poderão verificar-se velocidades mais baixas nas telhas cuja estrutura porosa sofreu maior destruição, dado que é provável que a chuva tenha dissolvido os cristais salinos que colmataram os poros logo após a cristalização.

Uma melhor interpretação dos resultados dos ensaios de ultra-sons poderá ser conseguida através de ensaios complementares que permitam um melhor conhecimento da estrutura porosa das telhas antes e

após ciclos, que se encontram presentemente em curso (nomeadamente, ensaios de absorção de água e de porosimetria).

Para simular em laboratório as consequências mais gravosas observadas em casos reais e verificar se os ensaios usados são sensíveis a essas variações, é necessário obter maiores níveis de degradação. Para isso pretende-se prosseguir o estudo com um maior número de ciclos ou alterar alguns dos parâmetros utilizados nos ensaios realizados.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos fabricantes e ao CTCV (Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro) pelo fornecimento das telhas e pela informação disponibilizada. Também agradecem ao Departamento de Materiais do LNEC e aos seus colaboradores, onde foram realizados os ensaios.

Referências

- [1] Rodrigues, J. D.; Gonçalves, T.D. Sais solúveis nas construções históricas. Introdução e relato sumário. Actas do Seminário “*Sais Solúveis em Argamassas de Edifícios Antigos. Danos, Processos e Soluções*”, CS 32, LNEC, Lisboa, 2006, pp. 1-13.
- [2] Cruz, C.; Veiga, M. R.; Ferreira, V. M. Evaluation of Durability of Clay Roofing Tiles. *Materiais 2007, XIII Conferencia da Sociedade Portuguesa de Materiais, IV International Materials Symposium*, Porto, 1 a 4 de Abril de 2007.
- [3] European Committee for Standardization (CEN) *Natural stone test methods - Determination of resistance to ageing by salt mist*, European Standard EN 14147, CEN, Brussels, 2003.
- [4] CEN *Natural stone test methods - Determination of sound speed propagation*, European Standard EN 14579, CEN, Brussels, 2004.
- [5] Henriques, F. M. A.; Rodrigues, J. D.; Aires-Barros, L.; Proença, N. *Materiais pétreos e similares. Terminologia das formas de alteração e degradação*, ITPRC 2, LNEC, Lisboa, 2004.