

ABSORÇÃO SONORA EM ARGAMASSAS DE REBOCO DE DESEMPENHO TÉRMICO MELHORADO



P. AFONSO
Mestrando Eng.^a Civil
IST
Lisboa; Portugal
pedromsaf@hotmail.com



A. NEVES E SOUSA
Prof. Eng.^a Civil
CERis/ICIST, IST
Lisboa; Portugal
albano.n.e.sousa@tecnico.ulisboa.pt



I. FLORES-COLEN
Prof. Eng.^a Civil
CERis/ICIST, IST
Lisboa; Portugal
ines.flores.colen@tecnico.ulisboa.pt

RESUMO

Com o aparecimento de novas soluções de argamassas de reboco de desempenho térmico melhorado, têm também surgido no mercado argamassas com alguma capacidade de absorção sonora. Nesta comunicação, são apresentados os resultados de uma campanha de ensaios experimentais para caracterização do desempenho acústico deste tipo de argamassas, a qual se realizou no âmbito de um projecto de investigação em curso (NANORENDER). São também apresentados os resultados dos ensaios experimentais de avaliação de um conjunto de características físicas e mecânicas das argamassas, os quais constituem a base de dados necessária para o desenvolvimento, em trabalhos futuros, de uma ferramenta de previsão do desempenho acústico destas argamassas.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as exigências de conforto térmico e acústico adquiriram uma importância acrescida no projecto e construção de edifícios, daí resultando um incentivo à produção de novos materiais capazes de combinar características de isolamento térmico ou de absorção sonora com uma adequada resistência mecânica. Entre estes materiais encontram-se as argamassas de revestimento de desempenho térmico melhorado, as quais podem ser obtidas, por exemplo, através da substituição de agregados. No conjunto de estudos realizados sobre este tipo de argamassas no âmbito do projecto NANORENDER, ainda em curso no Instituto Superior Técnico (IST), foi incluído um estudo de caracterização acústica, no qual foram analisadas, além de uma argamassa de referência com areia, argamassas tradicionais com incorporação de granulado de cortiça (GC), argila expandida (EC) e aerogel de sílica (SAG), bem como argamassas industriais com incorporação de granulado de cortiça e poliestireno expandido (EPS). Foi realizada uma campanha experimental no Laboratório de Acústica e Vibrações do IteCons, na Universidade de Coimbra, para avaliar os espectros de absorção sonora de cada argamassa. Com o objectivo de desenvolver, em trabalhos futuros, uma ferramenta de previsão do desempenho acústico destas argamassa, foram ainda avaliadas experimentalmente, no IST, características físicas como a massa volúmica, a porosidade aberta, a permeabilidade ao ar, a resistividade ao fluxo de ar e a condutibilidade térmica, bem como características mecânicas como a resistência à compressão, o coeficiente de Poisson, a velocidade de propagação de ultra-sons e os módulos de torção e de elasticidade dinâmicos.

2. PREPARAÇÃO DE PROVETES

2.1. Caracterização dos materiais

Descrevem-se em seguida os agregados de substituição utilizados na formulação das argamassas testadas. Na produção das argamassas foram também utilizados adjuvantes (agente reológico, introdutor de ar e resina).

O granulado de cortiça (GC) é um material natural e renovável obtido pela reciclagem de desperdícios da produção de materiais à base de cortiça. Devido à sua estrutura celular oca e elevado conteúdo gasoso (Brás *et al.*, 2013 [1]; Panesar & Sindhman, 2012 [2]), este material apresenta valores reduzidos de massa volúmica, em geral entre 100 a 140 kg/m³, o que se traduz numa baixa condutibilidade térmica e elevada absorção sonora (Gil, 1997[3]; Gil, 2007 [4]).

A argila expandida (EC), com elevada porosidade (os poros podem ocupar até 90 % do seu volume) e reduzida massa volúmica (300 a 700 kg/m³), apresenta também reduzida condutibilidade térmica e absorção sonora elevada (Kalhori *et al.*, 2013 [5]; Bartolini *et al.*, 2010 [6]; Vašina *et al.*, 2005 [7]). Por outro lado, este material apresenta também suficiente estabilidade física e química (é um material inerte e incombustível), bem como valores relativamente altos de resistência mecânica.

O aerogel de sílica (SAG) é um material caracterizado por apresentar uma nanoestrutura reticulada com 95 % de nanoporos, o que lhes confere uma reduzida condutibilidade térmica e uma reduzida massa volúmica que pode variar de 140 kg/m³ a apenas 1 kg/m³. Este material é não reactivo e incombustível, sendo no entanto bastante frágil e de custo elevado (Oliveira *et al.*, 2012 [8]; Kim *et al.*, 2012 [9]).

2.2. Formulação e caracterização das misturas e dos provetes

Nesta campanha experimental foram produzidas quatro formulações de argamassas tradicionais e duas industriais. Foram produzidas três argamassas tradicionais com 100 % de substituição em volume de agregados naturais por cada um dos agregados leves (granulado de cortiça, argila expandida e aerogel de sílica comercial) e uma argamassa de areia. Foram produzidas duas formulações de argamassas industriais (uma com granulado de cortiça e outra com EPS) através da adição de água à mistura em pó, conforme as indicações dos fabricantes.

Na produção das argamassas tradicionais utilizou-se cimento Portland da classe CEM II 32,5 N como ligante com um traço volumétrico de 1:4, que, além de ser comparável com outros trabalhos de investigação anteriores e ainda em curso, é também o traço indicado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (1968) [10] (citado por Gomes *et al.* (2005) [11]) para a camada de base de um revestimento tradicional de base cimentícia. Para a argamassa de referência foi adoptada a curva granulométrica da “areia lavada 0/2 Mesquita”, tendo sido utilizados agregados leves com granulometrias de fracções de 1 a 2 mm e 0,5 a 1 mm para as restantes argamassas. Todas as argamassas tradicionais incluem ainda, na sua composição, introdutor de ar, resina líquida e agente reológico.

Na Tabela 1 é apresentada a composição das argamassas tradicionais produzidas e na Tabela 2 é apresentada a informação disponibilizada pelos fabricantes quanto à composição das argamassas industriais.

Tabela 1 – Composição, em massa, das argamassas tradicionais produzidas e relação água/cimento (a/c)

Designação das argamassa	Constituintes em massa [%]					Relação a/c	Adjuvantes/adições
	CEM II 32,5 N	Granulado de cortiça	Argila Expandida	Aerogel de sílica	Areia		
100% SAG	81,19	0	0	18,81	0	0,66	resina; agente reológico e introdutor de ar
100% EC	43,63	0	56,37	0	0	0,55	
100% GC	83,93	16,07	0	0	0	0,85	
100% Areia	16,88	0	0	0	83,12	0,40	

Numa primeira fase foram produzidos, para cada argamassa, dois provetes cilíndricos de 40 mm de espessura e 28,5 mm de diâmetro, e dois provetes de 40 mm de espessura e 99,5 mm de diâmetro. Os provetes foram produzidos em moldes circulares apropriados para o efeito. Para todas as argamassas, utilizou-se uma misturadora vibratória para adicionar os introdutores de ar à água e aos agregados, seguida de uma misturadora mecânica para o restante do processo

de adição do ligante, agente reológico e resina. A argamassa foi em seguida colocada nos moldes, tendo a compactação sido realizada através de um pilão metálico normalizado. Estes provetes foram posteriormente utilizados para medição da absorção sonora em tubo de impedância.

Numa segunda fase produziram-se, para cada argamassa, três provetes prismáticos de dimensões 160×40×40 mm³. O método de mistura foi idêntico ao descrito anteriormente, tendo-se utilizado, nesta fase, moldes prismáticos e um pilão metálico de compactação próprios para o efeito.

Tabela 2 - Constituintes das argamassas industriais produzidas

Argamassa	Ligante	% de substituição (em volume)	Dimensão dos agregados (mm)	Outros agregados	Quantidade de água por saco (litro/kg)	Adições/ adjuvantes
Industrial de cortiça	Cal hidráulica natural	Cortiça (sem informação)	≤ 3	Terra diatomácea/ Argila	0,55	Aditivos naturais; Fibras de polipropileno; Introdutores de ar
Industrial de EPS	Cal/ cimento branco e ligantes sintéticos	70-80% EPS	1,5 a 2	Areia (calcária e siliciosa)	0,7	Não especificados

3. DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS

Antes e depois de se proceder à secagem dos provetes cilíndricos, foram efectuadas medições da condutibilidade térmica com recurso a um equipamento ISOMET 2114. Quando os provetes cilíndricos atingiram uma idade de 28 dias, foram realizados ensaios de obtenção de espectros de absorção sonora de acordo com a norma EN 10534-2:2001 (CEN, 2001) [12]. O método baseia-se na medição da reflexão, pelos provetes, de ondas de diferentes frequências dentro de um tubo de impedância, utilizando-se dois diâmetros de amostra para analisar diferentes gamas de frequências. Foi utilizado um tubo de impedância do tipo B&K 4206, com dois microfones do tipo B&K 2670, ligado a um sistema de aquisição B&K Pulse com *software* Pulse Material Testing Program B&K 7758.

As restantes características físicas e mecânicas foram medidas nos provetes prismáticos.

A massa volúmica foi obtida, de acordo com a norma EN 1015-10 (CEN, 1999) [13], no estado seco, pelo método geométrico, dividindo a massa pelo volume. Uma vez que as argamassas são menos densas do que água, torna-se impossível a sua pesagem hidrostática no âmbito de um ensaio com exsiccador para medição da porosidade aberta. Assim, recorreu-se a um método expedito baseado na imersão em água de fragmentos de argamassa não normalizados, comparando-se os seus volumes seco e saturado para obtenção de uma medida indicativa da porosidade aberta. De forma a manter as amostras imersas em água, recorreu-se a um suporte de aço inoxidável, utilizando-se também uma rolha de cortiça para evitar a evaporação da água presente no tubo durante o ensaio, o que provocaria variações erróneas de volume. A permeabilidade e a resistividade ao ar foram ensaiadas através de um permeâmetro GP-M100A. O ensaio baseia-se na medição do caudal e da pressão de nitrogénio gasoso que atravessa um provete.

A resistência à compressão foi obtida através da leitura em tempo real, por um deflectómetro, do deslocamento provocado por uma força gerada por uma prensa de flexão, com base num procedimento adaptado da norma EN 1015-11 (CEN, 1999) [14]. A resistência à compressão é a tensão que corresponde à máxima carga aplicada na área comprimida do provete. O coeficiente de Poisson e os módulos de elasticidade dinâmico e de torção foram determinados de acordo com os procedimentos especificados na norma ASTM E1876-01 (ASTM, 2006) [15]. Este ensaio baseia-se na leitura, com o equipamento GrindoSonic MK5“Industrial”, das frequências naturais correspondentes aos modos de vibração à flexão e à torção do provete para uma excitação causada pelo choque de uma baqueta de peso normalizado. Para a medição da velocidade de propagação de ondas ultra-sónicas seguiu-se um procedimento adaptado da norma EN 12504-4 (CEN, 2004) [16], tendo sido utilizado o equipamento Proceq Pundit Lab+, com transdutores de frequência de 54 kHz e 150 kHz, e pasta de dentes vulgar como material de contacto.

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nas Tabelas 3 e 4 apresentam-se, respectivamente, para os intervalos de frequência de 100 a 800 Hz e de 1000 a 6300 Hz, os espectros de absorção sonora em bandas de frequência de oitava obtidos experimentalmente para os provetes com diâmetros de 28,5 e 99,5 mm.

Tabela 3 – Espectros de absorção sonora obtidos experimentalmente para frequências de 100 a 800 Hz

Argamassa	Frequência (Hz)									
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
100% SAG	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	0.08
100% EC	0.07	0.06	0.08	0.13	0.17	0.24	0.35	0.46	0.48	0.41
100% GC	0.05	0.04	0.05	0.08	0.1	0.13	0.21	0.3	0.48	0.72
Referência	0.07	0.08	0.13	0.19	0.26	0.34	0.44	0.52	0.56	0.54
Industrial com GC	0.03	0.02	0.03	0.05	0.07	0.11	0.16	0.15	0.1	0.08
Industrial com EPS	0.03	0.01	0.03	0.04	0.05	0.07	0.13	0.17	0.12	0.09

Tabela 4 – Espectros de absorção sonora obtidos experimentalmente para frequências de 1000 a 6300 Hz

Argamassa	Frequência (Hz)								
	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
100% SAG	0.1	0.12	0.15	0.15	0.17	0.18	0.22	0.27	0.25
100% EC	0.32	0.27	0.23	0.23	0.25	0.29	0.37	0.45	0.43
100% GC	0.8	0.64	0.44	0.38	0.41	0.57	0.58	0.56	0.6
Referência	0.48	0.39	0.3	0.3	0.32	0.35	0.4	0.43	0.37
Industrial com GC	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13	0.18	0.28	0.21
Industrial com EPS	0.08	0.08	0.09	0.1	0.1	0.11	0.14	0.21	0.1

A Figura 1 mostra uma representação gráfica das Tabelas 3 e 4, permitindo observar, para todas as argamassas, o aumento esperado da absorção sonora com a frequência. Observa-se ainda que, à excepção da argamassa de 100 % SAG, todas as amostras apresentam um pico de absorção sonora entre as bandas de frequência de oitavas de 400 e 1000 Hz. Esses picos são particularmente relevantes para as argamassas de 100% GC e de 100% EC, bem como, surpreendentemente, para a argamassa de areia. Efectivamente, não se esperava que esta argamassa pudesse apresentar coeficientes de absorção superiores ao das argamassas com agregados leves, assumindo-se que tal se deva à formulação das argamassas, nomeadamente ao efeito das adições, em particular dos introdutores de ar, os quais poderão ter induzido alterações na estrutura porosa da argamassa. A Tabela 6 mostra que, de facto, a argamassa de referência apresenta um valor comparativamente elevado da porosidade aberta. O método de mistura ou a eventual deterioração dos provetes no transporte também poderão ter influenciado os resultados. De qualquer forma, convém salientar que a argamassa de areia não constitui uma argamassa de desempenho térmico elevado (Tabela 5), pelo que se situa fora do âmbito deste trabalho. Observa-se também que as argamassas que contêm aerogel de sílica em substituição a 100% não apresentam uma melhoria significativa do seu comportamento acústico em relação às restantes.

Efectuando uma comparação de desempenhos com base no indicador NRC (*Noise Reduction Coefficient*), o qual é definido com base na norma norte-americana ASTM C423 (ASTM, 2009) [17] como a média aritmética dos coeficientes de absorção sonora nas bandas de frequências de oitava de 250, 500, 1000 e 2000 Hz, arredondada a múltiplos de 0,05, conclui-se que as argamassas de areia e de 100% EC apresentam NRC = 0,40, apresentando a argamassa de 100% GC NRC = 0,30. As restantes argamassas apresentam NRC = 0,10. Usando a equivalência de classificações entre a norma ASTM C423 (ASTM, 2009) [17] e a norma europeia EN ISO 11654 (1997) [18], conclui-se que as argamassas de areia, de 100% EC e de 100% GC são classificadas como materiais de revestimento pouco absorventes (classificação E numa escala de A a E), sendo as restantes argamassas classificadas como materiais não absorventes (ou seja, como materiais primordialmente reflectores).

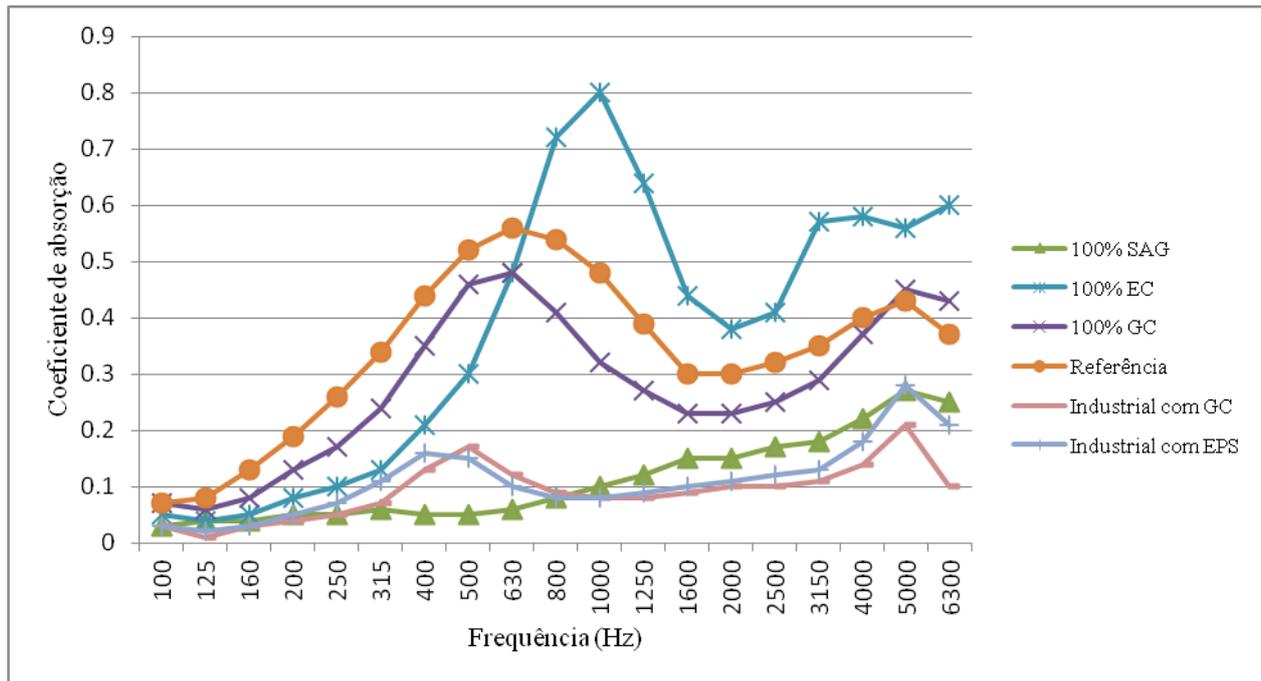


Figura 1 – Espectros de absorção sonora obtidos experimentalmente

Apesar de não serem esperadas classificações superiores a D (materiais absorventes), os valores relativamente baixos obtidos para os coeficientes de absorção sonora nas argamassas industriais e de agregados de aerogel de sílica ficaram aquém dos resultados esperados. De facto, as características físicas dos agregados utilizados nestas argamassas permitiam esperar obter coeficientes de absorção sonora mais elevados. Da mesma forma, apesar de os fabricantes das argamassas industriais indicarem valores máximos de absorção sonora próximos de 0,70, os ensaios realizados não permitiram confirmar esse desempenho. Mais uma vez, pode ser apontado um conjunto de razões relacionadas com a produção das amostras que justifiquem os comportamentos observados, sendo, portanto, necessário realizar mais testes para obter conclusões mais detalhadas.

Nas Tabelas 5 e 6 apresentam-se os resultados obtidos experimentalmente para as restantes características físicas e mecânicas analisadas.

Parece não existir uma correlação forte entre a massa volúmica de cada argamassa no estado endurecido e a absorção sonora. Efectivamente, para os valores médios dos coeficientes de absorção sonora, obteve-se um coeficiente de correlação linear com a massa volúmica na ordem de 0,30, enquanto para os coeficientes de absorção sonora máximos, o coeficiente de correlação linear foi inferior.

A porosidade aberta deveria ser, em princípio, um dos parâmetros que mais afectaria o comportamento acústico de um material de revestimento. No entanto, neste caso, também não se obteve uma correlação entre a porosidade aberta e os coeficientes de absorção sonora obtidos. Registe-se, porém, que, tendo sido adoptado um método de ensaio (adaptado para amostras de argamassas leves) não normalizado, subsistem dúvidas relativamente à validade dos resultados. Observa-se, por exemplo, que a argamassa com maior valor de porosidade aberta é a argamassa industrial de granulado de cortiça (50 %), a qual apresenta um fraco desempenho acústico. Por outro lado, a argamassa de 100 % EC, que apresentou maiores valores de absorção sonora, tem apenas 25% de porosidade aberta, o que constitui um valor idêntico ao da argamassa de areia e inferior ao da argamassa de 100% GC (36,36 %). Conclui-se assim que são necessários mais estudos de validação do método adoptado para a medição da porosidade aberta. De qualquer forma, a porosidade aberta, isoladamente, poderá não ser suficiente para explicar a absorção sonora, uma vez que a forma dos poros ou tortuosidade também desempenha um papel importante (Allard *et al.*, 1993). A tortuosidade poderá ser avaliada qualitativamente através de ensaios de microtomografia.

Tabela 5 – Características físicas e mecânicas das amostras obtidas na primeira fase de produção

Argamassa	ρ (kg/m ³)	λ (W·m ⁻¹ K ⁻¹)	λ_{seca} (W·m ⁻¹ K ⁻¹)	E_d (MPa)	G (MPa)	μ	δ (d)	r (kPa.s/m ²)
100% EC	717,9	0.163	0.141	1278.906	552.781	0.157	114.91	154.68
100% GC	491,0	0.100	0.084	398.307	169.927	0.172	76.61	238.78
Industrial de Cortiça	698,6	0.155	0.125	1189.142	502.341	0.184	4.29	4517.04
Industrial de EPS	382,0	0.084	0.071	370.719	151.520	0.223	3.53	5278.65
Areia	1186,5	0.349	0.305	1712.198	749.168	0.143	108.98	177.44
100% SAG	507,9	0.091	0.075	543.055	219.716	0.236	11.22	1693.80

Legenda: ρ – massa volúmica; λ – condutibilidade térmica; E_d – módulo de elasticidade dinâmico; G – módulo de torção; μ – coeficiente de Poisson; δ – permeabilidade ao ar; r – resistividade ao fluxo de ar.

Tabela 6 – Características físicas e mecânicas das amostras obtidas na segunda fase de produção

Argamassa	ρ (kg/m ³)	σ (%)	f_c (MPa)	E_d (MPa)	G (MPa)	μ	v (m/s)	
							54 kHz	150 kHz
100% EC	668.61	25.00	1.66	1593.25	734.28	0.095	1937.89	1985.34
100% GC	408.41	36.36	0.39	254.18	98.94	0.284	922.16	765.89
Industrial de Cortiça	707.64	50.00	2.02	1266.25	512.98	0.235	1550.78	1489.61
Industrial de EPS	436.13	16.67	0.78	576.87	247.75	0.164	1426.92	1389.48
Areia	1311.67	25.00	0.40	2613.86	1247.12	0.048	1832.25	1716.30
100% SAG	464.52	18.75	0.34	345.63	128.89	0.260	1164.50	936.34

Legenda: ρ – massa volúmica; E_d – módulo de elasticidade dinâmico; G – módulo de torção; μ – coeficiente de Poisson; σ – porosidade aberta; f_c – resistência à compressão; v – velocidade de propagação de ondas ultra-sónicas.

As argamassas industriais são as que apresentam valores mais baixos de permeabilidade ao ar, obtendo-se valores reduzidos também para a argamassa de 100% SAG (11,22 d). As argamassas de areia e de argila expandida (curva mesquita com tensoactivos) apresentaram os valores mais elevados de permeabilidade, com 108,98 d e 114,91 d, respectivamente. Note-se, no entanto, que a presença de introdutor de ar nas argamassas de areia e de 100% EC torna-as mais porosas, podendo afectar o seu comportamento face à penetração de ar.

Os valores de resistividade ao fluxo de ar apresentados correspondem à média entre os valores obtidos por dois métodos de cálculo, um dos quais depende apenas da viscosidade do gás que atravessa as amostras e da permeabilidade destas, enquanto o outro depende do caudal e da pressão do gás, os quais são variáveis ao longo do ensaio, bem como da geometria do provete ensaiado. Como a resistividade ao fluxo de ar é um indicador da dificuldade com que o fluido atravessa o material, este indicador é inversamente proporcional à permeabilidade ao ar, pelo que as argamassas com maior permeabilidade ao ar são as que apresentam menor resistividade. Observa-se que as argamassas com maior absorção sonora, ou seja, as de 100 % CE, de areia e de 100 % GC, são, como esperado, as que apresentam menor resistividade ao fluxo de ar. Efectivamente, os coeficientes de correlação entre a absorção sonora e a resistividade ao fluxo de ar, para uma aproximação de potência, foram de aproximadamente 0,80. Comprova-se assim que este parâmetro é o indicador físico mais adequado do desempenho acústico destes materiais de revestimento. De qualquer forma, no desenvolvimento do modelo teórico de previsão do desempenho acústico destas argamassas será sempre necessário relacionar a resistividade ao fluxo de ar com as restantes propriedades em estudo.

A Tabela 5 mostra uma correlação fraca entre a condutibilidade térmica de cada argamassa no estado endurecido e a absorção sonora, independentemente de se medir a condutibilidade térmica em condições normais de humidade ou após a secagem dos provetes. Em ambos os casos, obtiveram-se coeficientes de regressão linear inferiores a 0,40. De facto,

enquanto as condutibilidades térmicas reduzidas dependem da porosidade com célula fechada, a absorção sonora depende da porosidade com célula aberta e elevada tortuosidade.

Para a resistência à compressão, coeficiente de Poisson e módulos de torção e de elasticidade dinâmico foram obtidos resultados coerentes entre si. A velocidade de propagação de ondas ultra-sónicas, que mede a relação entre a rigidez e massa de um material, bem como, indirectamente, a sua coesão, poderia dar uma indicação do desempenho acústico. No entanto, apesar de as velocidades registadas estarem em concordância com os resultados obtidos para a massa volúmica, resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico, obtiveram-se coeficientes de correlação com a absorção sonora inferiores a 0,40. Apesar de se considerar que os restantes parâmetros não afectam directamente a capacidade de absorção sonora das argamassas, foi também avaliado o grau de correlação existente, verificando-se, na generalidade dos casos, que os coeficientes de correlação não excedem 0,43.

4. CONCLUSÕES

Na presente comunicação foram apresentados os primeiros resultados experimentais de um estudo, ainda em desenvolvimento, com vista à caracterização da absorção sonora de argamassas de desempenho térmico elevado e à identificação dos principais parâmetros físicos e mecânicos que controlam este fenómeno. Os resultados experimentais mostram que o tema carece ainda de investigação aprofundada, sendo, no entanto, possível confirmar, nesta fase, que a absorção sonora das argamassas depende, em particular, da resistividade ao fluxo de ar e da tortuosidade. Os resultados obtidos mostram uma fraca correlação entre a absorção sonora e a porosidade e a massa volúmica das argamassas, existindo, contudo, dúvidas a esclarecer relativamente à influência dos adjuvantes/adições utilizados na formulação das argamassas e aos métodos de ensaio adoptados, em particular para a avaliação da porosidade.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CERis/ICIST e à FCT o financiamento do projecto de investigação NANORENDER - PTDC/ECM/118262/2010. Os autores agradecem também aos fabricantes das argamassas industriais e agregados (granulado de cortiça e argila expandida) pelo fornecimento de materiais para a realização do estudo. Por último, os autores agradecem ao Prof. Manuel Pereira, do CERENA/IST, pela disponibilidade para os ensaios de permeabilidade ao ar.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Brás, A.; Leal, M.; Faria, P., “Cement-cork mortars for thermal bridges correction. Comparison with cement-EPS mortars performance”. *Construction and Buildings Materials* nº 49, 2013, pp. 315-327.
- [2] Panesar, D.; Shindman, B., “The mechanical, transport and thermal properties of mortar and concrete containing waste cork”. *Cement & Concrete Composites* nº 34, 2012, pp. 982-992.
- [3] Gil, L., “Cork Powder Waste: An Overview”. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 13, Nos. 1/2, 1997, pp. 59-61;
- [4] Gil, L., “A cortiça como material de construção”. Manual Técnico, APCOR, 2007.
- [5] Kalhori, E. *et al*, “Modeling of adsorption of toxic chromium on natural and surface modified lightweight expanded clay aggregate (LECA)”. *Applied Surface Science* nº 287, 2013 pp. 428-442.
- [6] Bartolini, R. *et al*, “Acoustic and mechanical properties of expanded clay granulates consolidated by epoxy resin”. *Applied Clay Science* nº 48, pp. 460-465.
- [7] Vašina, M. *et al*, “The acoustical properties of consolidated expanded clay granulates”. *Applied Acoustics* nº 67, 2005, pp.787-796.
- [8] Oliveira, H. *et al*, “Alguns Contributos da Nanotecnologia para a Sustentabilidade dos Materiais de Construção”, Congresso de Inovação na Construção Sustentável CINCO ‘12, Plataforma para a Construção Sustentável, Aveiro, 2012.
- [9] Kim, S. *et al*, “Chemical retreating for gel-typed aerogel and insulation performance of cement containing aerogel”. *Construction and Building Materials* nº 40, 2012, pp. 501-505.
- [10] LNEC, “Recomendações para execução de revestimentos exteriores de argamassa”. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1968.
- [11] Gomes, R., *et al*, “Influência dos procedimentos de execução em rebocos correntes”, 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. Lisboa, 2005.
- [12] “Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 2: Transfer-function method”, EN 10534-2, Comité Européen de Normalisation, 2001.

- [13] “Methods of test for mortar for masonry - Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar”, EN 1015-10, Comité Européen de Normalisation, 1999.
- [14] “Methods of Test for Mortar for Masonry-Part 11-Determination of Flexural and Compressive Strength of Hardened Mortar”, EN 1015-11, Comité Européen de Normalisation, 1999.
- [15] “Standard Test Method for Dynamic Young’s Modulus, Shear Modulus, and Poisson’s Ratio by Impulse Excitation of Vibration”, ASTM E1876-01, American Society for Testing and Materials, 2006.
- [16] “Testing concrete - Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity”, EN 12504-4, Comité Européen de Normalisation, 2004.
- [17] “Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method”, ASTM C423-09a, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009
- [18] “Acoustics -- Sound absorbers for use in buildings -- Rating of sound absorption”, EN ISO 11654, Comité Européen de Normalisation, 1997.