

APLICABILIDADE DA FÓRMULA DE SABINE A ESPAÇOS COM ELEVADA ABSORÇÃO SONORA: PROPOSTA DE PRÉVIA CORREÇÃO DE COEFICIENTES DE ABSORÇÃO

Diogo Mateus¹, André Marinho², Andreia Pereira¹

¹CICC, Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Pólo 2, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal, e-mail: {diogo, apereira} @dec.uc.pt

²Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Pólo 2, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal, e-mail: afrmarinho@hotmail.com

Resumo

Como forma de evidenciar o cumprimento do requisito de tempo de reverberação, em fase de projeto, são geralmente utilizadas expressões simplificadas nomeadamente, as de Sabine, Eyring e Millington. De entre estas três fórmulas, sobretudo pela sua simplicidade, a de Sabine é claramente a mais utilizada, apesar de teoricamente esta ser válida apenas para situações com baixa absorção sonora ($\bar{\alpha} \leq 0,1$) e com distribuição mais ou menos uniforme das superfícies mais absorventes. As fórmulas de Eyring e de Millington, teoricamente, são adequadas para espaços de maior absorção, mas também podem conduzir a desvios significativos quando a distribuição da absorção sonora não é uniforme ou quando o campo sonoro deixa de ser difuso. Neste trabalho é avaliada a aplicabilidade da fórmula de Sabine a espaços de elevada absorção sonora e estudada a possibilidade de prévia correção dos coeficientes de absorção sonora dados pelos fabricantes (obtidos em laboratório segundo a norma ISO354:2003), de forma a obter-se uma maior convergência com os resultados reais. Para o efeito, são comparados os tempos de reverberação obtidos pela fórmula de Sabine com os experimentais, registados in situ, e com resultados teóricos obtidos através do método de “Ray Tracing”. Tendo por base estas comparações, é proposto um “ábaco” que possibilitará a correção dos coeficientes de absorção sonora, para posterior aplicação da fórmula de Sabine.

Palavras-chave: tempo de reverberação, fórmula de Sabine, absorção sonora, experimental.

Abstract

The Sabine, Eyring and Millington formulas are expressions commonly used to predict the reverberation time in the acoustic design stage of a room. Among these, the Sabine's formula is the preferred expression, due to its simplicity, although theoretically it should only be applied when the mean absorption coefficient of the room is low ($\bar{\alpha} \leq 0,1$) and absorption is uniformly distributed in the surfaces of the room. On the other hand, Eyring and Millington formulas are more suitable when the rooms display higher absorption, however they can also provide inaccurate results when the absorption distribution is not uniform or when the sound field generated in the room is not diffuse. In this work the authors investigate the applicability of the Sabine's formula to spaces with high absorption and a correction to the sound absorption coefficient supplied by the manufactures (obtained in laboratory following the procedure defined in the ISO 354:2003) is proposed so as to approach the results provided by this formula to the ones obtained in situ using measurements. With this propose the results obtained using the Sabine's formula are compared with the ones obtained in situ and with those computed using a software based on the “Ray Tracing Method”. These comparisons will allow obtaining a correction curve to be used for achieving a corrected sound absorption coefficient when applying the Sabine's formula.

Keywords: reverberation time, Sabine's formula, sound absorption, experimental.

PACS no. 43.55.Br, 43.55.Nd

1 Introdução

Entre os vários requisitos impostos pelo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE [1]), que visam a melhoria das condições acústicas no interior dos edifícios, uma das exigências aplicáveis, nomeadamente em locais onde a inteligibilidade da palavra é relevante, corresponde ao tempo de reverberação médio (T). O valor deste parâmetro T resulta da média aritmética dos tempos de reverberação obtidos nas bandas de oitava centradas nas frequências de 500, 1000 e 2000Hz. Em fase de projeto, como forma de evidenciar o cumprimento deste requisito, é frequente a utilização de fórmulas simplificadas de cálculo, nomeadamente as fórmulas de Sabine, Eyring e Millington ([2], [3]).

Apesar da simplicidade desta fórmula, a sua aplicabilidade para espaços com elevada absorção sonora (em particular para coeficientes de absorção sonora média superiores a 0,2) pode conduzir a desvios significativos, do lado da insegurança. Habitualmente estes desvios são tanto maiores quanto mais elevados forem os coeficientes de absorção sonora média do espaço. Por exemplo, para uma sala com cerca de 200 m³ de volume, um teto falso de elevada absorção sonora (com coeficiente de absorção da ordem de 0,7) e restantes superfícies e mobiliário de baixa absorção sonora é possível determinar um tempo de reverberação, pela fórmula de Sabine, da ordem de 0,4 s, quando a medição do tempo de reverberação no local pode conduzir a valores superiores a 0,7 s (substancialmente mais desfavorável). Neste trabalho apresenta-se uma proposta de prévia correção dos coeficientes de absorção (ábaco de correção), para posterior aplicação da fórmula de Sabine, quando as superfícies apresentam coeficientes de absorção sonora superiores a 0,20 (a partir do qual se detetam desvios considerados relevantes). O ábaco proposto neste trabalho resulta da comparação entre os tempos de reverberação obtidos pela fórmula de Sabine e um conjunto alargado de resultados experimentais, obtidos em diversos tipos de salas de pequena e média dimensão (salas de aula, de formação e de escritórios), bem como da comparação com resultados obtidos através de modelação numérica a 3D, recorrendo ao programa de cálculo automático CATT – AcousticTM. Este programa permite a previsão do comportamento acústico de salas, baseado nos seguintes modelos: “Ray Tracing” e “Image Source Model – ISM”. Não se pretende com a presente proposta, que esta metodologia seja aplicável a grandes espaços ou a situações com necessidade de desempenho acústico muito elevado, nomeadamente auditórios e salas de espetáculos, mas sim a espaços correntes de pequena e média volumetria onde é necessária a verificação do requisito tempo de reverberação e onde não se pretendem utilizar metodologias de cálculo mais complexas.

2 Resultados experimentais de base

Tal como referido no ponto anterior, a proposta de correção dos coeficientes de absorção apresentada neste trabalho, resulta da comparação entre resultados teóricos e experimentais. Numa primeira fase foi determinado um possível ábaco de correção baseado apenas na comparação de resultados obtidos pela fórmula de Sabine com resultados experimentais.

A fórmula de Sabine é dada pela seguinte expressão:

$$T_r = \frac{0,161V}{A + 4mV} \quad (1)$$

em que V é o volume do espaço (em m^3), $4mV$ é a área de absorção sonora do ar (em m^2) no volume do espaço (que normalmente só é relevante para espaços de volumetria muito elevada, da ordem de $400 m^3$ ou mais) e A é a área de absorção sonora equivalente (em m^2), determinada por $A = \sum S_i \alpha_i + A_o$, em que S_i é a área da superfície i (em m^2), α_i é o coeficiente de absorção sonora da superfície i e A_o corresponde à área de absorção sonora total do recheio do espaço (mobiliário, objetos, etc.).

Os resultados experimentais foram obtidos através de medições realizadas em salas de geometria simples (próximas de paralelepípedas) em edifícios escolares e similares e edifícios de serviços, onde existia apenas uma superfície de elevada absorção sonora (geralmente um teto falso e pontualmente uma das paredes), sendo as restantes superfícies e recheio de baixa absorção sonora (reboco, estuque, gessos cartonados lisos, e mobiliário em madeira, não estufado).

Os ensaios de medição do tempo de reverberação foram executados de acordo com a metodologia de ensaio indicada na norma NP EN ISO 3382-2:2011 [5]. No total foram utilizadas 16 salas, com volumes entre os 70 e os 300 m^3 , umas novas e outras reabilitadas, que foram objeto de verificação do cumprimento do requisito do tempo de reverberação médio (T), com vista à obtenção de licença de utilização (procedimento previsto no atual Regulamento Geral do Ruído e na Portaria 232/2008 de 11/03).

Tendo em conta que o objetivo da presente proposta de ábaco de correção dos coeficientes de absorção se destina sobretudo a situações “simples”, onde se pretende determinar, em fase de projeto, o tempo de reverberação médio T , obtido a partir da média aritmética dos valores nas bandas de oitava centradas em 500, 1000 e 2000 Hz e como para baixas frequências a forma do espaço é muito relevante, optou-se por avaliar apenas os resultados obtidos nestas três bandas oitavas. Deste modo, para as 16 salas, foram considerados separadamente os coeficientes de absorção para as bandas de oitava de 500, 1000 e 2000 Hz, conduzindo a um número total de resultados distintos igual a 48, com sete tipos diferentes de revestimentos de elevada absorção sonora (com valores de α , dados pelos fabricantes, variáveis entre cerca de 0,2 e 0,95). Para cada caso foi determinado o valor corrigido de α que, ao aplicar-se a fórmula de Sabine, conduzisse ao tempo de reverberação medido no ensaio *in situ*. Estes resultados corrigidos de α são apresentados na Figura 1. Por exemplo, para uma das soluções com α do fabricante próximo de 0,8 (neste caso correspondeu a um gesso perfurado, com lã mineral na caixa de ar, para a oitava de 500 Hz) obteve-se numa das salas um valor corrigido de 0,42 e numa segunda sala de 0,44. Com base nos valores de α corrigidos, para o conjunto das 48 amostras, foi traçada a curva ajustada, segundo uma função quadrática, tendo resultado a curva a tracejado indicada na Figura 1. Refira-se que, à exceção da superfície de elevada absorção sonora em cada sala, as restantes superfícies e recheio eram de baixa absorção sonora, tendo sido considerado um coeficiente de absorção sonora igual nas bandas de oitava de 500, 1000 e 2000 Hz, com os seguintes valores médios: 0,04, para superfícies rebocadas ou estucadas; 0,08, para superfícies em gesso cartonado, para vãos envidraçados e para portas; e de 0,12 para o pavimento, incluindo cadeiras e mesas (em madeira), e para superfícies de armários. A área de absorção sonora do ar, no volume de cada espaço, foi desprezada (mas para os volumes em causa, se fosse considerada, os resultados seriam idênticos).

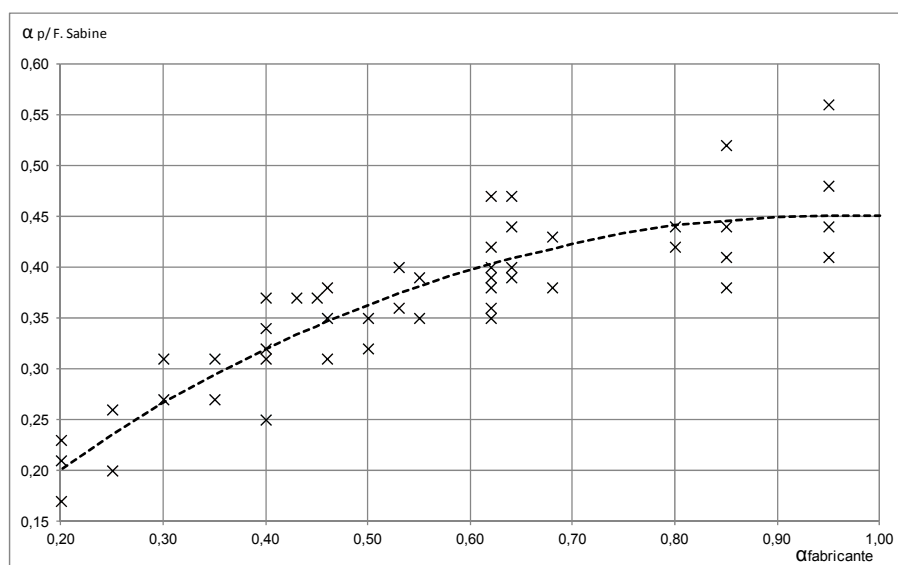


Figura 1 – Relação entre os valores dos coeficientes de absorção sonora dados pelo fabricante e os respectivos valores corrigidos que seriam necessários para conduzir ao tempo de reverberação experimental, utilizando a fórmula de Sabine (resultantes de 48 amostras, com ensaios *in situ*).

3 Resultados previstos através de modelação numérica

O conteúdo da presente secção resultou da comparação entre resultados previstos através de modelação numérica, recorrendo ao programa de cálculo automático CATT – AcousticTM, com resultados previstos através da fórmula de Sabine [4]. Este estudo foi elaborado na sequência de um primeiro estudo baseado, sobretudo, na componente experimental, resumido na secção anterior. Neste segundo estudo, com uma vertente mais teórica, foram utilizadas como referência três salas distintas, onde para duas delas foram também efetuados ensaios de medição do tempo de reverberação, considerando dois tipos de situações distintas com revestimentos fonoabsorventes, propositadamente aplicados sobre o pavimento das salas, que permitiram também a comparação entre resultados previstos com resultados experimentais. A terceira sala correspondeu a uma sala fictícia, sem qualquer paralelismo entre as superfícies da sala, de forma a minimizar a influência das reflexões sucessivas entre superfícies, criando um campo mais difuso. Para além das duas salas situadas no Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra (DEC-FCTUC), com diferentes situações de revestimento fonoabsorvente, como forma de validação da metodologia proposta neste trabalho, foram ainda utilizadas outras duas salas de aula do DEC-FCTUC, onde os resultados previstos pela metodologia aqui proposta foram comparados com resultados experimentais: uma sala de aulas com cerca de 54 m² de área de piso, com teto falso de elevada absorção sonora; e um auditório com cerca de 160 m² de área de piso, com elevada absorção sonora em cerca de 50% da área de teto e cerca de 40% da área de paredes.

De acordo com a experiência de utilização do software CATT – AcousticTM, e da posterior comparação com resultados experimentais, verifica-se que este software conduz a tempos de reverberação tendencialmente superiores aos reais quando o espaço apresenta grandes superfícies paralelas de baixa absorção sonora e sem difusão sonora. Para situações de não paralelismo, entre superfícies de baixa absorção sonora e sem difusão, tem-se verificado uma aproximação entre resultados previstos por este software, em projeto, e os resultados efetivamente medidos no final da obra. No caso do paralelismo entre o piso e o teto, que ocorre normalmente em salas correntes, mesmo

que o teto e o piso possuam baixa absorção sonora, esta situação acaba por não ser problemática, uma vez que o pavimento, associado ao mobiliário, confere habitualmente uma elevada difusão sonora. Ao considerar esta elevada difusão do piso no modelo numérico de cálculo, os resultados teóricos acabam por ser geralmente convergentes com os resultados experimentais. Foi sobretudo esta a razão que levou a considerar uma sala fictícia, sem qualquer paralelismo entre as superfícies da sala, onde supostamente os resultados experimentais são mais próximos dos previstos através da utilização do software CATT – Acoustic™.

Para as três salas utilizadas como referência neste segundo estudo, foi considerado um revestimento de piso fonoabsorvente com valores teóricos de α a variar entre 0,10 e 0,99, com intervalos de variação de 0,05 (exceto na aproximação a 0,99, onde foi mais curto). Refira-se que, foi utilizado o piso para consideração do material fonoabsorvente, e não o teto, para possibilitar posteriormente a comparação com resultados experimentais em duas destas três salas, mas se fosse simulado no teto os resultados seriam semelhantes. As duas salas do DEC-FCTUC corresponderam às salas SE4.3 e SE4.4, ambas com o volume semelhante (cerca de 166 m³ de área de piso e 3,10 m de pé-direito) e forma próxima de paralelepípedica, uma delas sem qualquer superfície de elevada absorção sonora (SE4.4), e outra com a parede posterior da sala revestida com painéis ranhurados de elevada absorção sonora (SE4.3). A terceira sala, fictícia, apresentava a geometria indicada na Figura 2.

Tendo como referência a sala SE4.3, da comparação de resultados previstos através do software CATT – Acoustic™ com resultados da fórmula de Sabine, resulta o ábaco de correção dos valores de α apresentado na Figura 3. De igual forma, apresenta-se também nesta figura a respetiva curva de correção para o caso da sala fictícia assimétrica. Apesar de não ser apresentado o resultado em frequência para estas duas salas, as curvas de correção separadas por bandas de frequência, entre as oitavas de 125 e 4000 Hz, eram praticamente coincidentes com a curva média apresentada. Esta curva média, resultou da comparação com valores médios de T (nas oitavas de 500, 1000 e 2000 Hz).

No caso da sala SE4.4, e como seria de esperar, o respetivo ábaco de correção dos valores de α resultante é demasiado penalizador (não apresentado neste trabalho), e neste caso, irreal, uma vez que os valores previstos pelo software CATT – Acoustic™, para a situação de pavimento com elevada absorção sonora, são significativamente superiores aos medidos. Da análise em frequência, para esta sala, verifica-se uma forte variabilidade entre resultados, com correções inferiores para baixas frequências e correções aparentemente exageradas para altas frequências.

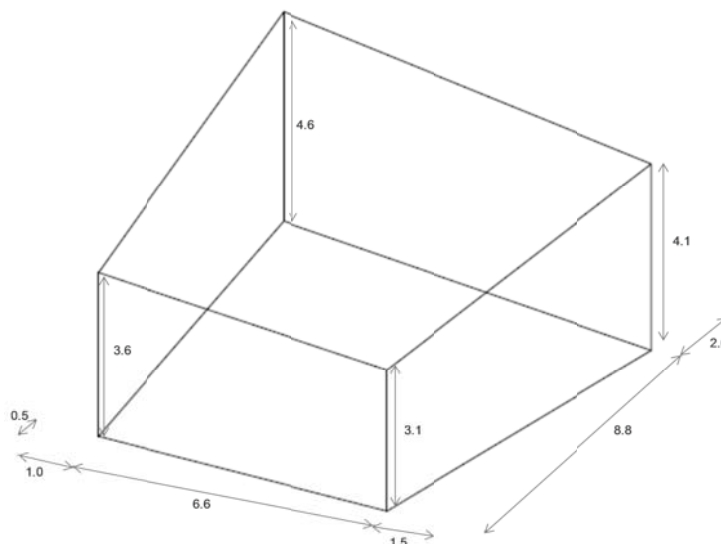


Figura 2 – Configuração da sala de geometria assimétrica (dimensões em m) utilizada como referência na comparação entre resultados previstos pela fórmula de Sabine e pelo software CATT – Acoustic™.

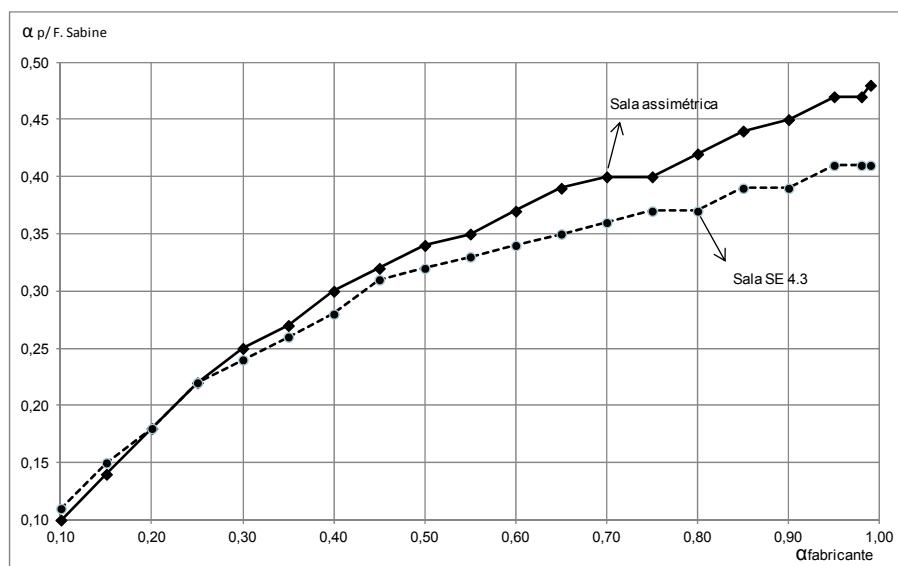


Figura 3 – Relação entre os valores dos coeficientes de absorção sonora dados pelo fabricante e os respectivos valores corrigidos que seriam necessários para conduzir ao tempo de reverberação da modelação numérica, utilizando a fórmula de Sabine.

Refira-se que no caso da sala SE4.3, onde a parede posterior apresenta elevada absorção sonora, os respetivos coeficientes de absorção sonora foram determinados experimentalmente comparando os resultados das salas SE4.3 e SE4.4, onde a diferença reside basicamente no revestimento desta parede posterior. Deste modo, para este revestimento não foi considerada nenhuma correção adicional, tendo sido aplicada apenas a correção do revestimento de teto, cujos coeficientes de absorção sonora originais variaram entre 0,10 e 0,99. Contudo, e de acordo com o estudo realizado, verifica-se que, para além do valor do coeficiente de absorção, a área de material fonoabsorvente também é relevante. Nesta sala, ao aumentar a área de revestimento fonoabsorvente, passando de uma situação original, em que apenas a parede posterior possui elevada absorção sonora, para uma situação de parede e piso com elevada absorção sonora, também se justificaria uma correção adicional nos próprios coeficientes de absorção da parede posterior. Se esta correção fosse aplicada, a curva correspondente à sala SE4.3, na Figura 3, provavelmente aproximaria-se da curva correspondente à sala assimétrica. Nestas condições, e apesar de não ser possível confirmar experimentalmente, considera-se que a curva de correção correspondente à sala assimétrica, indicada na Figura 3, é a mais relevante, e será a considerada como referência no presente estudo.

4 Proposta de ábaco de correção dos valores de α

Na Figura 4 são apresentadas as duas curvas de correção resultantes dos dois estudos distintos apresentados respetivamente nos pontos 2 e 3 deste trabalho e uma terceira curva média ajustada, segundo uma função quadrática, entre as duas curvas anteriores. Esta terceira curva corresponde finalmente ao ábaco de correção dos valores de α proposto neste trabalho.

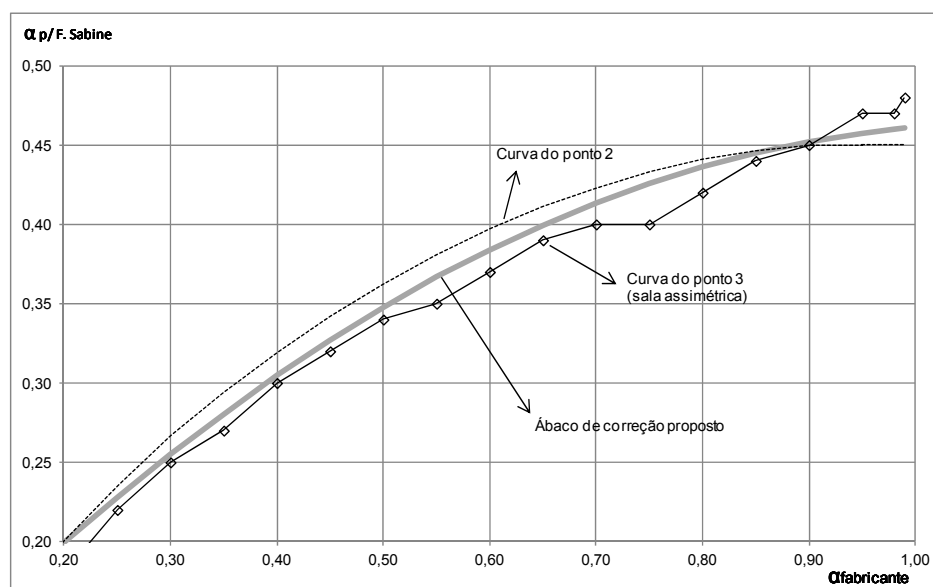


Figura 4 – Proposta de ábaco de correção dos coeficientes de absorção sonora dados pelo fabricante, para posterior determinação dos tempos de reverberação, através da fórmula de Sabine (obtido a partir da média das curvas propostas no ponto 2 e 3 deste artigo e ajustado a uma função quadrática).

Na Tabela 1, com o objetivo de validação preliminar do modelo proposto, são comparados resultados experimentais do tempo de reverberação (T_r) com os resultados teóricos obtidos a partir da presente proposta, para quatro salas do DEC-FCTUC, num dos casos com duas situações distintas de revestimento fonoabsorvente. Nesta tabela são ainda apresentados os respetivos desvios, em percentagem, entre os resultados teóricos e o experimentais, sendo os valores positivos do lado da segurança e os valores negativos do lado da insegurança. Nas salas SE4.3 e SE4.4, para além das soluções existentes nestas salas, e depois de retirado todo o mobiliário, foi revestido o pavimento com placas de aglomerado de espuma de poliuretano flexível com 90 kg/m^3 de massa volúmica (com espessura de 30 mm em toda a área de piso, em ambas as salas, e posteriormente com de 60 mm de espessura em cerca de 60% da área de piso, na sala SE4.4). Na sala SE4.3 a parede posterior da sala encontra-se revestidas com régua de madeira com junta aberta, materializando uma caixa de ar preenchida com lã mineral (revestida com véu negro de proteção). Na sala SA2.10 existe um teto falso constituído por painéis de gesso cartonado perfurado e lã mineral na caixa de ar. Na sala SA2.5 (auditório) existe um teto falso em gesso cartonado, sendo em painéis perfurados, com lã mineral na caixa de ar, em cerca de 50% da área de teto. As paredes encontram-se revestidas com painéis de madeira lisos, em cerca de 60% da área de paredes, e com régua de madeira aplicadas com junta aberta e com lã mineral na caixa de ar (solução semelhante à aplicada na parede posterior da sala SE4.3), nos restantes 40% de área de parede. No caso do aglomerado de espuma de poliuretano e dos tetos em gesso cartonado perfurado, os coeficientes de absorção sonora foram obtidos através da documentação técnica dos fabricantes. No caso dos painéis ranhurados, os coeficientes de absorção sonora foram obtidos através de ensaios em câmara reverberante, realizados no próprio DEC-FCTUC, em 2001, antes da sua aplicação nas respetivas salas.

Tabela 1 – Comparação entre resultados experimentais e resultados teóricos, obtidos através da metodologia proposta, para 5 casos de estudo (em 4 salas do DEC-FCTUC).

Caso de estudo		α [500 Hz]		α [1000 Hz]		α [2000 Hz]		Desvio global no valor de T
Sala SE4.3 com régua de madeira de junta aberta na parede posterior (α_1) e com placas de aglomerado de espuma de poliuretano com 30 mm sobre o pavimento (α_2), sem mobiliário	α_1 sem correção	0,74		0,31		0,28		
	α_2 sem correção	0,70		0,92		0,87		
	α_1 com correção	0,42		0,26		0,24		
	α_2 com correção	0,41	Desvio	0,45	Desvio	0,45	Desvio	
	Tr sem correção	0,47	-15%	0,43	-41%	0,43	-51%	-38%
	Tr com correção	0,75	36%	0,73	1%	0,71	-19%	2%
	Tr experimental	0,55		0,73		0,88		
Sala SE4.4 com placas de aglomerado de espuma de poliuretano com 30 mm, sobre toda a área de piso (sem mobiliário)	α sem correção	0,70		0,92		0,87		
	α com correção	0,41		0,45		0,45		
	Tr sem correção	0,61	-55%	0,46	-64%	0,46	-62%	-60%
	Tr com correção	0,94	-30%	0,81	-36%	0,78	-36%	-34%
	Tr experimental	1,34		1,26		1,21		
Sala SE4.4 com placas de aglomerado de espuma de poliuretano com 60 mm (30+30mm), sobre cerca de 60% da área de piso (sem mobiliário)	α sem correção	0,99		0,99		0,95		
	α com correção	0,46		0,46		0,46		
	Tr sem correção	0,74	-40%	0,70	-39%	0,69	-35%	-38%
	Tr com correção	1,34	9%	1,20	6%	1,11	4%	6%
	Tr experimental	1,23		1,13		1,07		
Sala SA2.10 (com teto falso em gesso cartonado perfurado e sem mobiliário)	α sem correção	0,69		0,62		0,37		
	α com correção	0,41		0,39		0,29		
	Tr sem correção	0,59	-28%	0,63	-24%	0,89	-6%	-19%
	Tr com correção	0,88	7%	0,90	7%	1,04	10%	8%
	Tr experimental	0,82		0,84		0,95		
Auditório SA2.5 (com gesso cartonado perfurado (α_1), em cerca de 50% da área de teto, e revestimento com régua de madeira de junta aberta (α_2), em cerca de 40% da área de paredes)	α_1 sem correção	0,94		0,65		0,48		
	α_2 sem correção	0,74		0,31		0,28		
	α_1 com correção	0,46		0,40		0,34		
	α_2 com correção	0,42		0,26		0,25		
	Tr sem correção	0,56	-32%	0,83	-1%	0,92	-3%	-12%
	Tr com correção	0,89	8%	1,05	25%	1,07	13%	15%
	Tr experimental	0,82		0,84		0,95		

Apesar de pontualmente, por bandas de frequência, ocorrerem desvios significativos entre os resultados experimentais e os previstos, utilizando a metodologia proposta, em termos globais (analisando o tempo médio de reverberação T) os desvios são reduzidos e tendencialmente do lado da segurança (apenas o 2º caso de estudo apresenta desvio do lado da insegurança). Sem correção dos coeficientes de absorção sonora, os tempos de reverberação determinados a partir da fórmula de Sabine apresentam sempre desvios globais muito significativos, com a agravante de se situarem sempre do lado da insegurança. Os desvios mais significativos, com e sem correção dos valores do coeficiente de absorção sonora, ocorrem no 2º caso de estudo (Sala SE4.4 com 30 mm de aglomerado de espuma de poliuretano), mas provavelmente estes são agravados pelo paralelismo entre as duas paredes de topo muito afastadas (comparativamente à distância entre paredes laterais), que originam reflexões sucessivas muito desfavoráveis e que conduzem a tempos de reverberação (experimentais) mais elevados. Utilizando um modelo detalhado, através da utilização do software CATT – Acoustic™, este agravamento dos tempos de reverberação é ainda mais acentuado. Estes resultados são provavelmente agravados pela não existência de mobiliário nesta sala. Apesar do mobiliário apresentar geralmente uma baixa absorção sonora, a sua presença pode favorecer significativamente a acústica da sala, graças à sua elevada difusão sonora.

5 Conclusões

No presente trabalho foi apresentada uma proposta de ábaco de correção dos valores do coeficiente de absorção sonora dados pelos fabricantes (obtidos em laboratório segundo a norma ISO 354:2003), aplicáveis quando os coeficientes são superiores a 0,20, para posterior aplicação da fórmula de Sabine. Este ábaco resultou de uma interpolação entre duas curvas de correção obtidas para dois tipos de abordagens distintas: uma realizada numa primeira fase, que consistiu basicamente na comparação entre tempos de reverberação experimentais, obtidos para 48 amostras, e os tempos de reverberação determinados a partir da fórmula de Sabine; e uma abordagem mais teórica, realizada numa segunda fase, em que se compararam os resultados previstos através da modelação numérica (método de “Ray Tracing”) com resultados determinados através da fórmula de Sabine.

Apesar de ter sido também efetuada uma validação preliminar da metodologia proposta no presente trabalho, com a sua aplicação a cinco casos de estudo, esta metodologia necessita ainda de uma validação mais profunda. Contudo, face à simplicidade da fórmula de Sabine e ao desconhecimento que geralmente existe quanto à absorção sonora de algumas superfícies dos espaços, e em particular do mobiliário e recheio, é natural que, para algumas situações pontuais, existam sempre alguns desvios significativos entre resultados previstos através desta metodologia e os experimentais. A título de exemplo refere-se o último caso de estudo apresentado no ponto anterior (auditório), onde bastaria um pequeno aumento nos valores do coeficiente de absorção das cadeiras e mesas, que eventualmente até se poderia justificar, para que o desvio fosse quase nulo.

De uma forma geral, a metodologia proposta conduz a resultados tendencialmente do lado da segurança, e muito mais próximos do real, quando comparado com a simples utilização dos coeficientes de absorção sonora facultados pelos fabricantes na fórmula de Sabine, que geralmente se aplica em projetos de condicionamento acústico correntes. Esta metodologia proposta deve ser, no entanto, aplicada apenas a situações simples, de volumetria inferior a 500 m³ e quando o objetivo é apenas determinar, em fase de projeto, o tempo de reverberação médio T, para posterior comparação com o requisito exigido.

Referências

- [1] RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n° 129/2002 de 11/05, com a nova redação dada pelo Decreto-Lei n° 96/2008 de 09/06.
- [2] Sabine, W. – “Collected Papers in Acoustics”, Cambridge: Harvard University Press, 1992.
- [3] Isbert, A. – “Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos”, Edicions UPC, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1998.
- [4] A. Marinho, Condicionamento Acústico de Salas – Métodos de previsão simplificados versus modelos detalhados, tese de mestrado integrado, DEC-FCTUC, 2012.
- [5] NP EN ISO 3382-2:2011. Acústica. Medição de parâmetros de acústica de salas. Parte 2: Tempo de reverberação em salas correntes.