

BAFFLES ACÚSTICOS, SUA APLICAÇÃO E DESEMPENHO

Jorge Fradique¹, Joel Faria da Silva²

¹Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I. P.

{jorge.fradique@iniav.pt}

²Besolution, Engenharia Lda.

{joelfaria@besolution.pt}

Resumo

Os ‘baffles’ acústicos são soluções de condicionamento acústico interior cada vez mais utilizados não só como elementos “decorativos” de elevada absorção sonora, mas também com materiais fonoabsorventes que permitem controlar acusticamente os espaços pela sua eficiência e absorção acústica reduzindo a reverberação interna dos ambientes com facilidade e um bom desempenho, que com as novas tecnologias e soluções torna possível aliar o conforto acústico com a beleza e funcionalidade dos espaços.

Não existem muitos estudos de como a sua disposição, composição ou agrupamento de diversas geometrias funcionam para o principal parâmetro e mais estudado o tempo de reverberação. Propôs-se neste artigo fazer essa avaliação com recurso a medições e modelação por software CATT-Acoustic™, com o objetivo de aprofundar o conhecimento de toda esta temática e de interiorizar toda a lógica do seu funcionamento.

Palavras-chave: Acústica, Reverberação, Absorção, Condicionamento, Baffles.

Abstract

“Acoustic baffles” are increasingly used as interior acoustic conditioning solutions, not only as highly sound-absorbing “decorative” elements but also as sound-absorbing materials that allow for the acoustic control of spaces through their efficiency and acoustic absorption, reducing internal reverberation of environments with ease and good performance, which with new technologies and solutions makes it possible to combine acoustic comfort with the beauty and functionality of spaces.

There are not many studies on how their arrangement, composition, or grouping of various geometries function for the main parameter and most studied parameter, the reverberation time. This communication proposes to evaluate this with the use of measurements and modeling software CATT-Acoustic™, with the aim of deepening knowledge of this whole subject and internalizing the logic of its functioning.

Keywords: Acoustics, Reverberation, Absorption, Conditioning, Baffles.

PACS no. 43.55.Dt, 43.50.Jh, 43.55.Ka

1 Introdução

Com as crescentes preocupações de conforto acústico dos espaços e melhoria das condições de vida e de trabalho, quer impostas pela regulamentação quer pela melhoria e preocupação das pessoas com o

ruído e a sua implicação na sua saúde e bem-estar, sabendo que o excesso de ruído gera stress, problemas de pressão arterial e mesmo danos irreversíveis no sistema auditivo, tem sido cada vez mais frequente o uso de baffles acústicos como solução para o tratamento acústico de espaços interiores melhorando a qualidade sonora do ambiente. Os baffles acústicos, também designados por lamelas ou defletores, são painéis suspensos, habitualmente na vertical, com características que permitem aumentar a absorção sonora dos espaços, reduzindo a reverberação e os níveis de ruído nesses espaços.

No entanto existem poucos estudos práticos do seu comportamento e eficácia face à sua disposição e afastamento dos elementos entre si e disposição, afastamento, composição e/ou agrupamento de diversas geometrias. Com o objetivo de ajudar os projetistas na tomada de decisão da disposição e distribuição nos espaços e maximizar a sua eficácia foram efetuadas medições acústicas em diversos locais e situações, e como complemento de análise recorreu-se à modelação numérica com o software de traçado de raios, através do software CATT-Acoustic™ [1].

Este artigo apresenta algumas das conclusões da Tese de Mestrado apresentada pelo Eng.º Joel Faria da Silva, indicada na referência [2].

2 Revisão do Estado da Arte

O uso de baffles acústicos tem sido uma solução cada vez mais popular para o tratamento acústico de espaços interiores. Estes dispositivos são projetados para absorver e dispersar as ondas sonoras, melhorando a qualidade do som ambiente.

A investigação sobre baffles acústicos tem avançado bastante nos últimos anos, existindo já alguns estudos explorando a sua eficácia em diferentes tipos de espaços, incluindo teatros, salas multiusos e de concertos, auditórios, estúdios de gravação e escritórios. Normalmente utilizados em grandes espaços, com um volume elevado, estes dispositivos tornam-se bastante eficazes aliando a estética à funcionalidade como elementos decorativos. Os baffles têm sido utilizados sobretudo em edifícios existentes, para colmatar insuficiências acústicas de espaços já em funcionamento ou no âmbito de processos de requalificação funcional de edifícios.

Sabe-se que o desempenho acústico dos baffles depende fortemente da sua dimensão, forma, material e posicionamento na sala. Alguns estudos mostraram que a escolha cuidadosa desses fatores pode resultar em uma significativa melhoria da qualidade do som.

Além disso, a combinação de diferentes tipos de tratamento acústico, incluindo baffles, pode ser ainda mais efetiva. Por exemplo, a combinação de baffles com painéis absorventes e difusores pode ajudar a equilibrar as frequências e aumentar a inteligibilidade da fala.

Em termos de materiais, a pesquisa tem explorado diferentes opções, incluindo tecidos acústicos, espumas de poliuretano e materiais compósitos. Cada material tem as suas próprias características acústicas e o uso adequado depende das necessidades específicas do projeto.

Os principais tipos de baffles são retangulares, que são os mais simples, geralmente feitos de espuma de poliuretano ou tecido acústico, com ou sem caixa de ar preenchida com materiais absorventes, lã mineral, ou refletores. Os baffles esféricos são projetados para maximizar a difusão sonora e ajudam a distribuir o som de forma uniforme numa sala. Os baffles cilíndricos são habitualmente projetados para maximizar a absorção sonora em frequências específicas, geralmente usados em estúdios de gravação e salas de concertos. Os baffles modulares são projetados para serem instalados de forma flexível, permitindo que o usuário configure o posicionamento de acordo com as suas necessidades. Os baffles customizados são projetados de acordo com as especificidades do projeto e podem incluir características adicionais, como iluminação integrada, (ver figura 1), separação de espaços, (ver figura 4), informativos entre outras características a de receber instalações técnicas ou revestimentos diversos como madeira ou outros, assumindo cada vez mais também a função decorativa, sendo habitualmente designados como “mobiliário acústico”.

A escolha do tipo adequado de baffle depende do tipo de espaço em que será instalado e do objetivo do tratamento acústico (absorção, difusão ou combinação das duas).



Figura 1– Baffle com iluminação integrada, Texdecor (2021)



Figura 2– Baffle com função decorativa, Texdecor (2021) Figura 3- Baffle com função decorativa, (Archello 2021)



Figura 4 - Exemplo de baffles decorativos absorventes, Texaa (2021)

Habitualmente os Baffles ficam suspensos verticalmente ou horizontalmente no teto ou fixam-se nas paredes, podendo ser estudados e dimensionados de acordo com o layout do ambiente e instalações

técnicas, são de fácil instalação e é uma ótima opção na relação custo-benefício para o tratamento acústico de ambientes.

Em resumo, a revisão do estado da arte sobre baffles acústicos mostra que eles são uma solução eficaz para o tratamento acústico de espaços interiores e que o seu desempenho acústico pode ser maximizado através da escolha cuidadosa dos fatores mencionados acima. A pesquisa continua e desenvolvimento de novas soluções e materiais permite explorar novas abordagens para melhorar a eficácia dos baffles e ampliar sua aplicação em diferentes tipos de espaços.

3 Metodologias

Pretende-se, em situação real, in-situ, numa sala com elevada reverberação, perceber de que forma a disposição, afastamento, horizontalidade e a aproximação de superfícies refletoras/absorvedoras influencia os parâmetros acústicos da sala. Para Tal efetuar-se uma verificação/validação de modelos de cálculos matemáticos confrontando com as medições in-situ recorrendo à modelação com o software CATT-Acoustic™, desenvolvido na Suécia e permite verificar padrões e analisar as diferentes soluções práticas a utilizar por arquitetos e projetistas de acústica.

3.1 Metodologia de Ensaio in-situ

A metodologia de ensaio do tempo de reverberação segue a norma NP EN ISO 3382-2:2015 [3] de acordo com o Método da fonte interrompida (método de engenharia):

- É efetuada uma produção de um forte campo sonoro no recinto, através de fonte sonora omnidirecional, (ver figura 5), de ruído estável e de banda larga (ruído branco) e tem um espectro contínuo.

A fonte deve de ser capaz de produzir um nível de pressão sonora suficiente para produzir uma curva de decaimento com o intervalo mínimo requerido sem contaminação do ruído de fundo, com a curva começando pelo menos 35 dB acima do ruído na frequência correspondente.



Figura 5 - Fonte Dodecaédrica omnidirecional Tipo 4292 da Brüel & Kjaer e Conjunto de medição acústica composto por Fonte Omnidirecional, amplificador, transmissor e sonómetro.

O sinal de excitação deve de ser suficientemente longo para produzir um nível de pressão sonora fixa em todas as bandas de frequências que depois é interrompido. Para obter um patamar de nível de pressão sonora fixa o tempo de excitação do compartimento deve de ser, no mínimo, metade do tempo de reverberação do compartimento esperado.

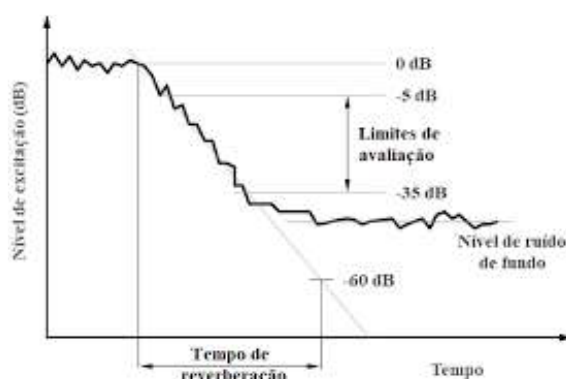


Figura 6 - Gráfico do sinal de excitação de modo a ser efetuada a medição do Tempo de reverberação

Na prática, não se consegue obter este decaimento de 60 dB, pelo que ao nível da medição utilizamos decaimentos inferiores, de 20 dB (T20) ou 30 dB (T30) sendo depois os valores extrapolados para o decaimento de 60 dB.

O Método da fonte interrompida (método de engenharia) descrito na NP EN ISO 3382-2:2015 indica que devem ser efetuadas no mínimo 12 medições, correspondentes a 6 posições de sonómetro com 2 leituras de decaimento em cada posição, no compartimento de ensaio, T20.

Tabela 1 – Número mínimo de pontos de medição de acordo com NP EN ISO 3382-2:2015

	Controlo	Engenharia ^{a)}	Precisão
Combinações fonte sonora-microfone	2	6	12
Posições da fonte sonora ^{b)}	≥ 1	≥ 2	≥ 2
Posições do microfone ^{c)}	≥ 2	≥ 2	≥ 3
Número de decaimentos em cada posição (método da fonte interrompida)	1	2	3

^{a)} Quando os resultados são utilizados como termo de correção para outras medições ao nível de engenharia, apenas uma posição da fonte e três posições do microfone são necessários.

^{b)} Para o caso do método de ruído interrompido podem ser usadas em simultâneo fontes não correlacionadas.

^{c)} Para o caso do método de ruído interrompido e quando os resultados são utilizados como termo de correção poderão ser utilizados sistemas de microfones rotativos em lugar de múltiplas posições de microfone.

No entanto, de modo a diminuir a incerteza do ensaio, aumentou-se o n.º de posições do sonómetro para 8, obtendo assim uma combinação de 16 leituras.

A medição foi efetuada com o compartimento desocupado, com a presença do Operador, respeitando as distâncias mínimas definidas na NP EN ISO 3382-2:2015:

- 2 m (que corresponde a ½ comprimento de onda) entre posições do sonómetro, evitando-se posições simétricas;

- 1 m (que corresponde a ¼ de comprimento de onda) entre o sonómetro e os limites do compartimento ou de elementos difusores, tais como paredes e pavimentos, podendo ser descuradas pequenas irregularidades dos limites do compartimento.

O cálculo dos valores do tempo de reverberação regulamentar, T_r , correspondente à média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitava, contendo as frequências centrais dos 500, 1000 e 2000 Hertz, para comparação com o Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de junho:

$$T_r = \frac{T_{500 \text{ Hz}} + T_{1000 \text{ Hz}} + T_{2000 \text{ Hz}}}{3} \quad (1)$$

No âmbito do caso de estudo, o cálculo dos valores do tempo de reverberação, T , correspondem à média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitava, contendo as bandas de frequência centrais dos 250 Hertz a 4000 Hertz:

$$T_r = \frac{\overline{T_{250\text{ Hz}}} + \overline{T_{500\text{ Hz}}} + \overline{T_{1000\text{ Hz}}} + \overline{T_{2000\text{ Hz}}} + \overline{T_{4000\text{ Hz}}}}{5} \quad (2)$$

Foi escolhida uma sala retangular vazia, com 9,63m comprimento, 4,72 m de largura, e pé direito de 2,42 m e 2,75 m, (Figura 7), simulando uma câmara reverberante com elevada reverberação em que se aplicou inicialmente um conjunto de 12 baffles com a dimensão de 1,20m x 0,4m x 0,02m dispostos no pavimento com área, A, de 5,76 m², e na vertical em diferentes afastamentos e alturas do teto e medindo-se assim o parâmetro do Tempo de reverberação, T, (Figura 7). Posteriormente, reduziu-se o conjunto para a quantidade 6 baffles, com as mesmas dimensões, novamente dispostos em diferentes afastamentos e alturas do teto e medindo-se assim novamente o parâmetro Tempo de reverberação (Figuras 8 e 9).

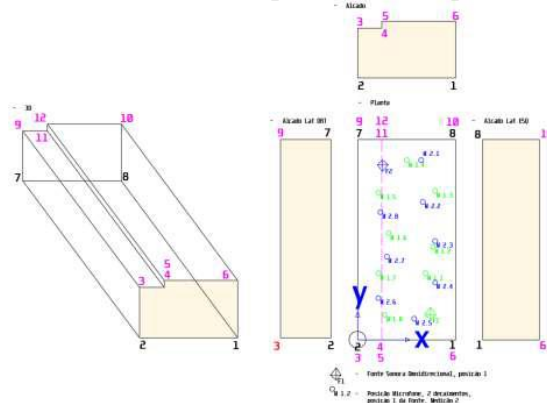


Figura 7 - Planta, alçados e 3D da sala, esquema das posições da fonte e do recetor



Figura 8 - Colocação de 12 baffles para ensaio



Figura 9 - Colocação de 6 baffles para ensaio

3.2 Metodologia Modelação - CATT-Acoustic™

Para a sala estudada para caracterizar o alfa da amostra em análise e estudar as diversas soluções, com pavimento em betonilha, paredes e teto em gesso cartonado, foi modelado desprezando uma porta metálica com dimensões de 0.8x2.0 m, A Figura 10 mostra uma imagem da sala analisada no CATT-Acoustic™:

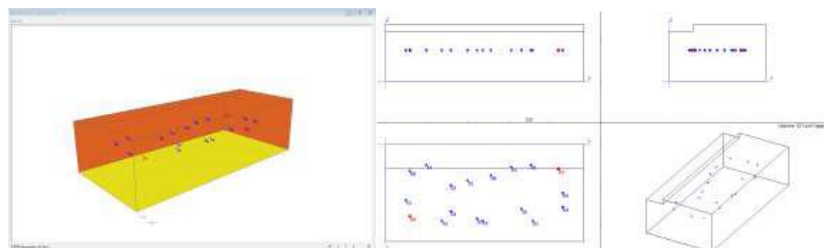


Figura 10 - 3D e vistas da sala em estudo no CATT-Acoustic™

4 Resultados

4.1 Cálculo do coeficiente de absorção sonora, alfa (α)

O procedimento para o cálculo da absorção sonora para a caracterização do coeficiente de absorção sonora do material (α) dos Baffles em estudo é efetuado com recurso a medições com o sistema de aquisição da B&K em sala vazia de elevada reverberação e baixa absorção sonora e utilizado o procedimento semelhante em camara reverberante que permite a obtenção dos tempos de reverberação efetuando-se medições com a câmara vazia, sem provete e com o provete para se proceder ao cálculo da área de absorção sonora. O valor obtido representa o tempo de reverberação associado ao provete de material em análise, por forma a se obter os parâmetros de interesse na caracterização da absorção sonora do material em questão, que por facilidade logística as referidas medições foram efetuadas numa sala vazia com elevada reverberação, em 3 situações, Baffles colocados no pavimento na horizontal, colocados na situação modelar na vertical com 1,2x1,2 de elemento, e com metade dos Baffles, com a mesma medida:



Figura 11 - Colocação do provete na horizontal, na vertical 12 elementos e 6 elementos

O parâmetro relevante para caracterizar estas soluções será o coeficiente de absorção sonora (α) no caso dos elementos distribuídos (lamelas na horizontal) e da área de absorção sonora equivalente por elemento no caso dos provetes ensaiados como elementos discretos na vertical, (conjunto de Baffles), relacionável com as medições da absorção sonora em camara reverberante e a classificação da absorção sonora (NP EN ISO 354:2007, EN ISO 11654:1997), obtida pela expressão:

$$\alpha = \frac{0,163V}{\Delta S} \left(\frac{1}{T_{rf}} - \frac{1}{T_{r0}} \left(1 - \frac{\Delta S}{S_{tot}} \right) \right) \quad (3)$$

Em que:

α - Coeficiente de absorção, razão entre a energia sonora absorvida e a energia sonora incidente, varia entre 0 e 1.

V – Volume da sala reverberante em m³

T_{rf} representa o tempo de reverberação da câmara reverberante com o provete de ensaio em s e m²



Figura 12 - Colocação do provete na horizontal, na vertical 12 elementos e 6 elementos

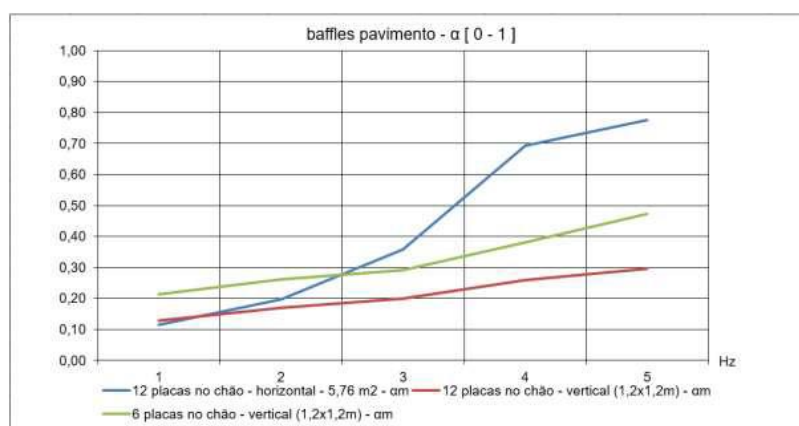


Figura 13 - Valores de alfa - colocação do provete na horizontal, na vertical 12 elementos e 6 elementos

4.2 Sala em estudo

A sala de pequenas dimensões estudada com baixa absorção e com área de 45,49 m² e volume de 121,40 m³, com pavimento em betonilha, paredes e teto em gesso cartonado, com mobiliário acústico composto por 12 baffles com 1200x400x20mm “slimpanel grille” e efetuadas diversas medições com afastamentos ao teto de 10cm, 30cm e 60 cm, e afastados entre lamelas de 20cm, 25cm, 30cm, 40cm, 50cm e 60 cm entre si, com a totalidade dos baffles e com metade.

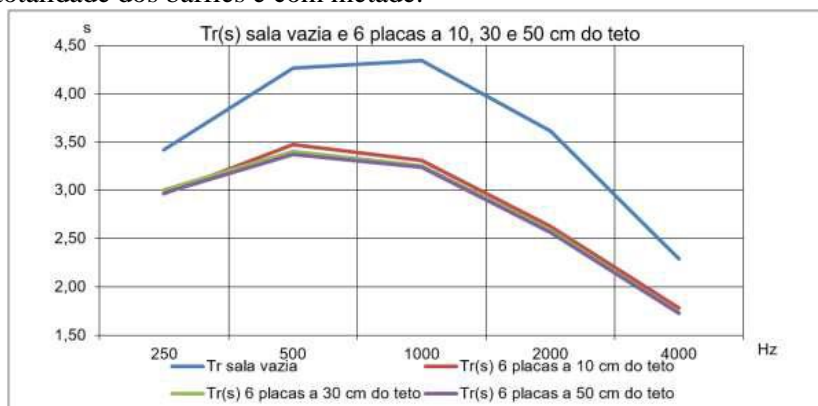


Figura 14 - Gráfico resumo das medições do Tempo de Reverberação - sala vazia, baffles a 10, 30, 50 cm do teto, com 6 baffles

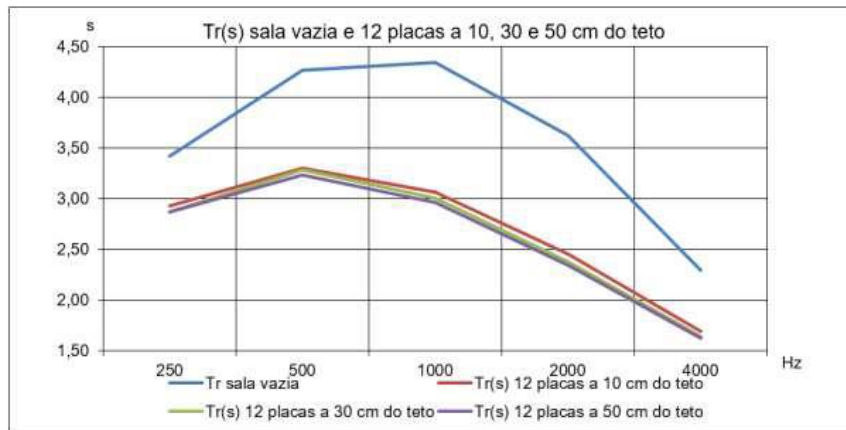


Figura 15 - Gráfico resumo das medições do Tempo de Reverberação - sala vazia, baffles a 10, 30, 50 cm do teto, com 12 baffles

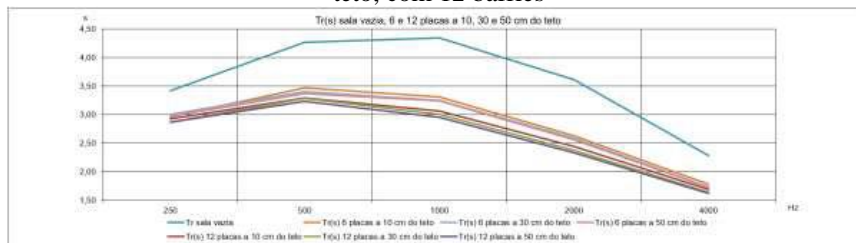


Figura 16 - Gráfico resumo das medições do Tempo de Reverberação - sala vazia, baffles a 10, 30, 50 cm do teto, com 6 e 12 baffles

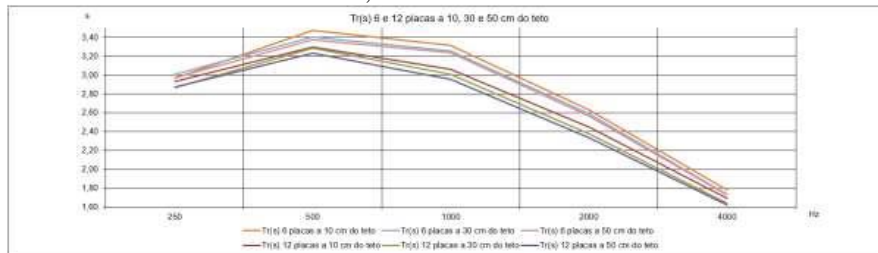


Figura 17 - Gráfico resumo das medições do Tempo de Reverberação - baffles a 10, 30, 50 cm do teto, com 6 e 12 baffles

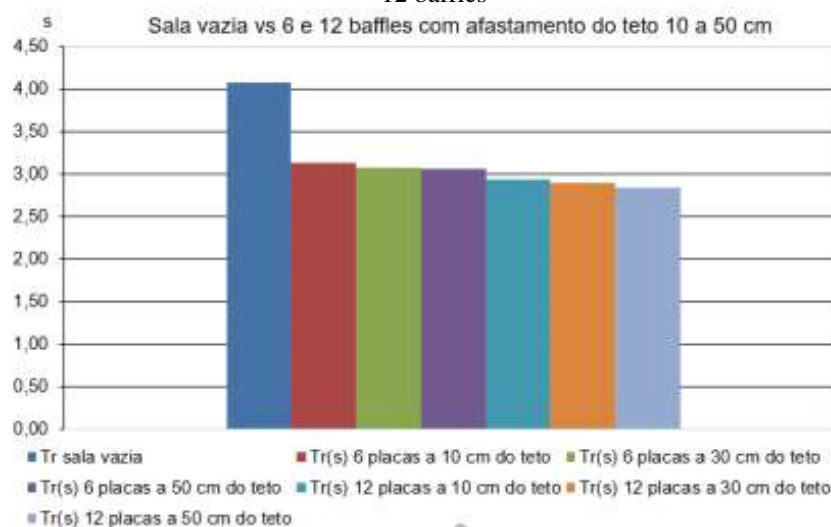


Figura 18 - Gráfico resumo das medições do Tempo de Reverberação - baffles a 10, 30, 50 cm do teto, com 6 e 12 baffles

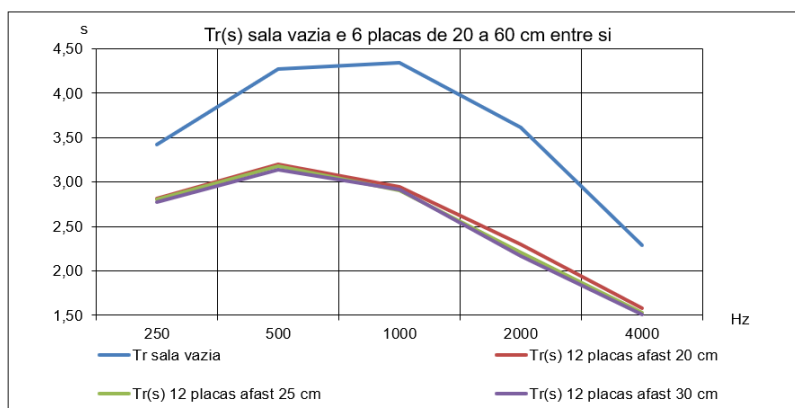


Figura 19 - Gráfico resumo das medições do Tempo de Reverberação - Sala vazia e 12 baffles com afastamentos de 20, 25 e 30 cm entre si

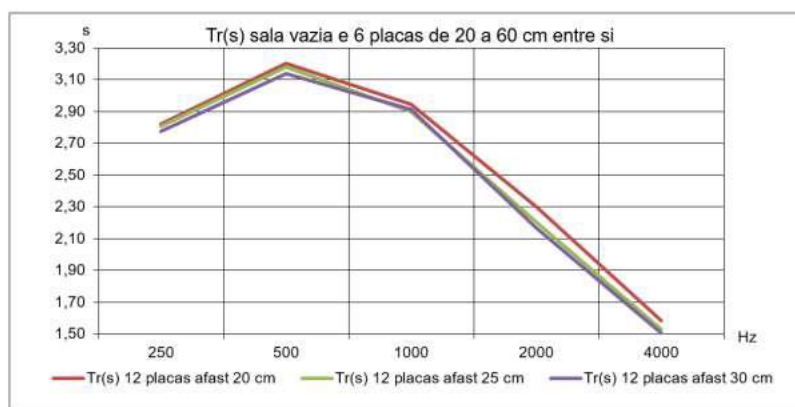


Figura 20 - Gráfico resumo das medições do Tempo de Reverberação - Sala com 12 baffles com afastamentos de 20, 25 e 30 cm entre si

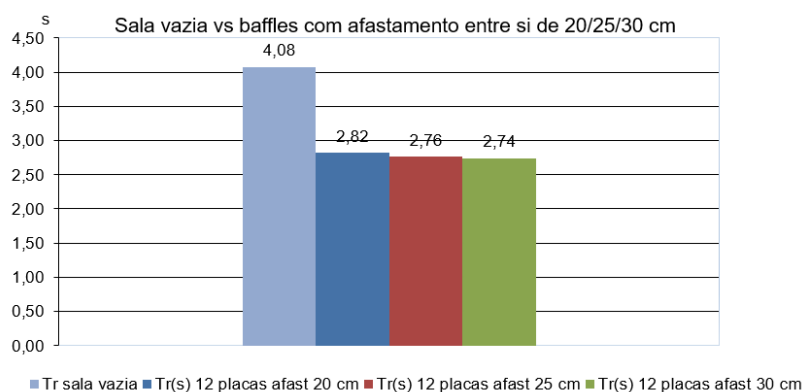


Figura 21 - Gráfico resumo das medições do Tempo de Reverberação – 12 baffles com afastamentos de 20, 25 e 30 cm entre si

4.3 Comparação dos resultados obtidos nas medições com modelação computacionais

Foi modelada a sala em estudo no programa CATT-Acoustic™ nas situações ensaiadas e em outras relevantes para perceber o comportamento da sala nas diversas situações.

Em conclusão e face às medições realizadas, e aos valores do tempo de reverberação obtidos pela modelação, verifica-se que o parâmetro altera significativamente com a alteração da localização dos baffles, assim como com a quantidade dos mesmos. Na tabela 2 e gráficos 22 e 23 apresenta-se o resumo das medições e modelação.

Tabela 2 – Quadro resumo das medições e modelação – 12 baffles

	250	500	1000	2000	4000	Tr(s)
Sala Vazia	3,42	4,27	4,34	3,62	2,29	3,59
Medição 12 placas afast 8 cm	3,02	3,45	3,36	2,68	1,81	2,87
Modelação 12 placas afast 8 cm	2,92	3,35	3,36	2,73	1,90	2,85
Medição 12 placas afast 20 cm	2,82	3,20	2,95	2,30	1,58	2,57
Modelação 12 placas afast 20 cm	2,60	2,89	2,89	2,34	1,67	2,47
Medição 12 placas afast 25 cm	2,88	3,17	2,91	2,20	1,53	2,54
Modelação 12 placas afast 25 cm	2,58	2,84	2,83	2,30	1,62	2,43
Medição 12 placas afast 30 cm	2,78	3,14	2,91	2,17	1,51	2,50
Modelação 12 placas afast 30 cm	2,53	2,79	2,77	2,24	1,59	2,38
Modelação 12 placas afast 40 cm	2,52	2,74	2,70	2,17	1,56	2,34
Modelação 12 placas afast 50 cm	2,49	2,70	2,67	2,13	1,53	2,30
Modelação 12 placas afast 60 cm	2,47	2,68	2,66	2,10	1,51	2,28
Modelação 12 placas afast 70 cm	2,47	2,68	2,63	2,09	1,50	2,27
Modelação 12 placas afast 80 cm	2,45	2,67	2,64	2,11	1,49	2,27

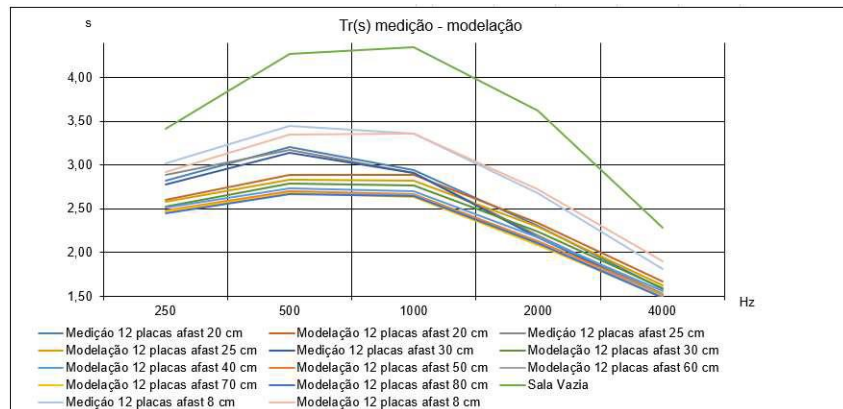


Figura 22 - Gráfico resumo das medições e modelação – 12 baffles

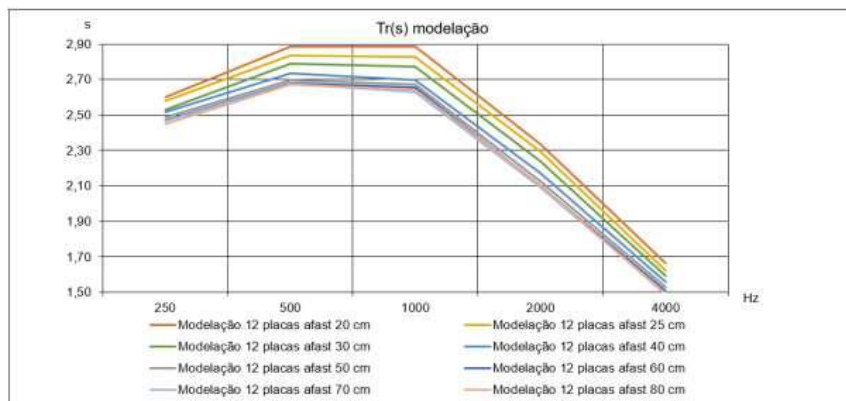


Figura 23 - Gráfico resumo da modelação – 12 baffles

5 Conclusões

Com esta tese e com a pesquisa e ensaios desenvolvidos pretendeu-se caracterizar e perceber como diferentes soluções de colocação dos baffles acústicos contribuem para a absorção sonora das salas. Foram ensaiadas situações reais e numa sala vazia, simulando uma câmara reverberante, fazendo variar o espaçamento e altura dos mesmos, com trabalho experimental e com recurso a modelação acústica no software CATT-Acoustic™, que nos permite tirar as seguintes conclusões:

- O parâmetro do Tempo de reverberação melhora significativamente face à solução de aplicar o mesmo material no teto como revestimento na horizontal ou aplicar como baffle na vertical distribuído pela sala.
 - A melhor distribuição e uniformidade da sua aplicação, com a mesma quantidade de material no espaço disponível, permite obter melhores resultados do Tempo de reverberação e por conseguinte maximizar o uso dos baffles.
 - O afastamento entre baffles e uniformização da sua aplicação na sala é importante e melhora o tempo de reverberação da sala, mas verifica-se que quando os baffles muito afastados entre si o parâmetro analisado praticamente não varia, com o resultado semelhante dos baffles com 40 cm de altura a estarem afastados a mais de 60cm.
 - O afastamento dos baffles do teto/ superfície refletora melhora o parâmetro do tempo de reverberação da sala.
 - O facto dos baffles estarem muito próximos uns dos outros, na ordem dos 7 a 20 cm prejudica o seu desempenho face à solução de os afastar e distribuir pela sala.
 - Em salas de pequenas dimensões e com elevada absorção a alteração da localização dos baffles pouco altera o parâmetro em estudo, tempo de reverberação, com alterações pouco significativas, tornando-se mais importante a sua localização e afastamentos quanto maior for a sala e menor absorção tiver.
- Como conclusão genérica e face aos resultados obtidos um maior espaçamento e afastamento do teto dos baffles resulta na aplicação de menos material absorvente por unidade de área para o mesmo objetivo de obter o tempo de reverberação pretendido.

Referências

- [1] CATT@ (2022) <http://www.catt.se>; CATT-Acoustic™ v9.1g:1 (released March 31, 2022), For room acoustics prediction and auralization: mono, stereo, binaural, 5-channel and 1st, 2nd and 3rd order B-format. latest demo/update Match 31, 2022.
- [2] Joel Filipe Ascenso Faria da Silva. (2023). Dissertação no âmbito do Mestrado em Eficiência Acústica e Energética para uma Construção Sustentável, no ramo de Acústica e Vibrações em Ambiente Urbano, orientada pelo Professor Doutor Diogo Manuel Rosa Mateus e pelo Professor Doutor Luís Manuel Cortesão Godinho apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- [3] NP EN ISO 3382-2:2015 “Acústica Medição de parâmetros de acústica de salas Parte 2: Tempo de reverberação em salas correntes”, Instituto Português da Qualidade, Portugal