

REABILITAÇÃO ACÚSTICA DE UM PEQUENO AUDITÓRIO

J. Gomes^a, Maria R. Ribeiro^b e C. Aquino^a

^a Escola Superior de Tecnologia e Gestão – Instituto Politécnico da Guarda,

Av Dr. Francisco Sá Carneiro 50, 6301-559 Guarda, Portugal, dse@mail.telepac.pt, aquino@ipg.pt

^b Centro de Estudos do Depart. de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto,
R. Dr. Roberto Frias 4200-465 Porto PORTUGAL

RESUMO: Após diversos anos de funcionamento de um auditório existente numa escola, ele revelou-se inadequado e pouco adaptado às funções para que estaria vocacionado, quer do ponto de vista funcional, quer do ponto de vista acústico. Tendo surgido a possibilidade de realizar obras de reabilitação, pretende-se com o presente artigo apresentar as linhas gerais da intervenção realizada e os indicadores acústicos do auditório, antes e após a intervenção.

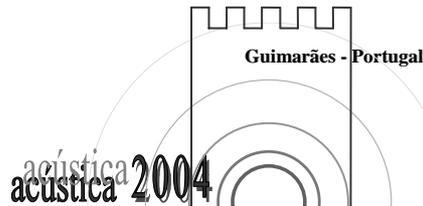
ABSTRACT: After several years of use, a small school auditorium revealed to be inadequate and not adapted to the main functions for it has been design. Having the possibility to rehabilitate this auditorium, we aim with this paper to present the intervention main guide lines and the acoustical behaviour before and after the rehabilitation work.

1. INTRODUÇÃO

A existência de um auditório na Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico da Guarda que apresentava insuficiências aos mais diversos níveis, nomeadamente de conforto termo-higrométrico (*Verão/Inverno*) e ventilação, ausência de meios audiovisuais e características de condicionamento acústico, motivou or pate da direcção da escola a adopção de medidas de reabilitação. A tudo isto poderia ainda acrescentar-se o carácter minimalista do local ao nível dos materiais e qualidade dos acabamentos (*em tudo semelhantes a uma sala de aula*), pouco consentâneo com os eventos que aí potencialmente se poderiam desenvolver, recorrendo-se na altura com muita frequência a outro auditório de maiores dimensões, existente nos serviços centrais do Instituto.

Apesar de não ter sido o condicionamento acústico, por si só, o principal motivo que desencadeou a intervenção no referido auditório, verificou-se no entanto uma melhoria substancial da qualidade acústica do local, em especial no que se refere à utilização da palavra como veículo principal de comunicação e dos meios audiovisuais com registo sonoro que aí foram introduzidos com a reabilitação do local.

Com o presente artigo pretende-se expor de uma forma abreviada a intervenção realizada, referindo-se numa primeira fase as medições inicialmente realizadas de forma a caracterizar acusticamente o local antes dos trabalhos de reabilitação, a análise de hipotéticas soluções de



intervenção com estimativa dos parâmetros, e as medições acústicas realizadas no final dos trabalhos de reabilitação de forma a validar as estimativas anteriores.

2. SITUAÇÃO EXISTENTE

2.1 Pressupostos de base

O auditório em causa situa-se num dos corpos da escola inicialmente construídos. Trata-se até à presente data do único espaço previsto para a realização de alguns dos actos principais da vida da escola, palestras, apresentações e secções de divulgação por parte de empresas e instituições. Verificava-se na prática, que grande parte dessas acções eram com alguma frequência transferidas para outro auditório situado nos serviços centrais, devido entre outros factores, à fraca qualidade do local do ponto de vista arquitectónico, de conforto, capacidade, facilidade de utilização e ausência de meios audiovisuais. Urgia pois dotar o auditório das condições mais adequadas para a sua mais frequente utilização por parte da comunidade docente e discente da escola. Nesse sentido foi solicitado ao laboratório de Física das Construções da escola, sob a alçada do Departamento de Engenharia Civil, que apresentasse uma proposta concreta no sentido de reabilitar o local tendo em conta a correcção dos principais problemas constatados.

Se bem que a intervenção tenha abrangido outros domínios, nomeadamente aspectos de climatização do local, ventilação e iluminação, apenas se dará no presente artigo ênfase aos aspectos directamente relacionados com a acústica do local.

2.2 Intervenção realizada

Um dos primeiros passos dos responsáveis pela intervenção foi a de analisar do ponto de vista acústico o auditório tal como ele se encontrava antes da intervenção, avaliando algumas características dimensionais básicas e medindo os parâmetros mais vulgarmente utilizados para caracterizar acusticamente os espaços fechados.

Relativamente às características dimensionais do local apresenta-se na tabela 1 uma síntese das mesmas, definidas de acordo com Beranek [1].

No que diz respeito às medições realizadas, elas foram conduzidas em duas fases distintas. Na primeira fase foi avaliada a qualidade do local em termos da inteligibilidade da palavra através dos índices RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*) e STI (*Speech Transmission Index*), utilizando-se para o efeito uma cadeia de medição 3361 da Brüel & Kjær. O número de pontos de medição foi de 6 com duas posições distintas do emissor.

Na segunda fase foram determinados tempos de reverberação obtidos com base em diferentes formas de avaliar o decaimento – T30, T20 e EDT (*Early Decay Time*), bem como três parâmetros acústicos, C80 (*Claridade*), D50 (*Definição*) e Ts (*Tempo Central*). Todas estas medições foram realizadas por oitavas e terços de oitavas, com base no método integrado de impulso-resposta associado ao módulo BZ7109 da Brüel & Kjær. O número de pontos de medição foi de oito por terços de oitava, com diversas posições da fonte sonora, e de 6 pontos em oitavas com duas medições distintas em cada ponto, em função de duas posições da fonte sonora.

Tabela 1 – *Características físicas do local*

Característica	Valor
Nº de lugares (N)	102
Volume (V)	630 m ³
Área útil (S)	143 m ²
Área ocupada pela audiência (S _a)	52 m ²
Área acústica da audiência (S _A)	83 m ²
Pé direito médio (H)	4.40 m
Comprimento médio (W)	14.05 m
Largura média (L)	10.20 m
Dist. orador à fila mais afastada (D)	10.4 m
Relação V/N	6.2
Relação V/S _A	7.6
Relação S _a /N	0.51
Relação S _A /N	0.81
Relação H/W	0.31
Relação L/W	0.73
Proporção W:L:H	6.4:4.6:2

Na tabela 2 apresentam-se os valores médios dos parâmetros acústicos medidos por oitavas.

Tabela 2 – *Parâmetros acústicos medidos no local*

Frequência (Hz)	T ₃₀ (s)	T ₂₀ (s)	EDT (s)	C ₈₀ (dB)	D ₅₀	T _s (ms)
125	6.0	5.8	5.6	- 7.0	0.11	404
250	3.9	3.9	3.8	- 4.9	0.16	277
500	2.2	2.2	2.1	- 0.2	0.37	131
1000	1.7	1.7	1.6	0.3	0.36	119
2000	1.6	1.6	1.5	1.0	0.44	102
4000	1.4	1.3	1.2	2.8	0.53	79

Comparando os valores obtidos com os valores ideais tendo em conta o volume e a finalidade do auditório em causa, pode constatar-se que os tempos de reverberação T₃₀, T₂₀ e EDT são substancialmente superiores ao tempo de reverberação ideal atendendo ao volume do auditório (*valores entre 0,80 e 0,75s para frequências igual ou superiores a 1kHz e entre 0,90 e 0,80s para frequências inferiores a 1kHz*). Os valores do parâmetro Definição (D₅₀) são inferiores ao valor ideal para todas as frequências (> 0.65), enquanto que para o Tempo Central (T_s) os valores avaliados são substancialmente superiores aos valores ideais (*valores compreendidos entre 80 e 140 ms*). Finalmente, no que diz respeito à Claridade (C₈₀), apesar de ser um parâmetro mais utilizado em apreciações mais vocacionadas para aspectos musicais, caso se trate de locais destinados a auditórios é recomendável que este parâmetro apresente valores superiores a 6dB, o que para o caso concreto também não se verifica.

Na figura 1 apresenta-se a tradução gráfica dos tempos de reverberação médios considerando as medições por oitavas. Da figura é possível constatar os valores elevados obtidos para o tempo de reverberação nas frequências de 125 e 250Hz.

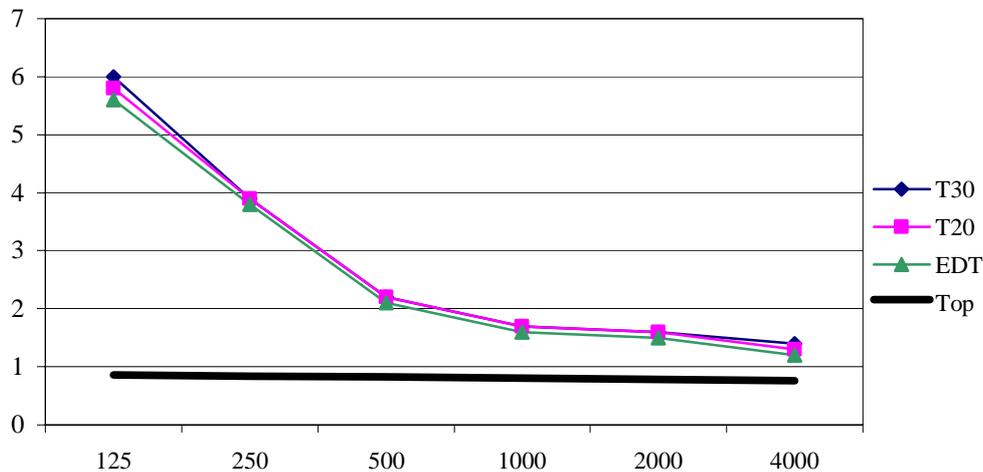


Figura 1 – Tempos de reverberação iniciais.

Relativamente ao índice RASTI foi determinado um valor médio de 0.49, com um máximo de 0.56 nos lugares mais próximos da fonte e de 0.45 nos lugares mais afastados. Tanto num caso como noutro, o valor do índice de inteligibilidade apresenta valores inferiores aos ideais (índice RASTI $\geq 0,60$).

2.3 Caracterização da situação

Tendo em conta as características físicas e acústicas do auditório, é possível concluir que existe uma relação entre o volume e o número de lugares elevada, fruto da distribuição das cadeiras e da elevada área consagrada a circulações, em especial na zona posterior. Outra conclusão que se poderá retirar é a inadequada proporção da sala do ponto de vista ondulatório, afastando-se da relação tradicionalmente sugerida para locais deste tipo 5:3:2 [2]. Relativamente aos parâmetros acústicos ressalta os elevados tempos de reverberação registados, facto que condiciona negativamente os restantes parâmetros acústicos., tal como foi referido no ponto 2.2. Os elevados tempos de reverberação para as frequências de 125 e 250 Hz poderão ser explicados por fenómenos de ressonância devido a ondas axiais e tangenciais envolvendo as superfícies verticais da sala, com o conseqüente atraso na extinção do som para essas frequências.

Para além de uma possível situação de ressonância, não foram detectados outros acidentes acústicos, nomeadamente ruídos de fundo significativos, tempos de atraso elevados ou ecos flutuantes.

No que diz respeito ao RASTI o valor médio indicia um local com características aceitáveis. No entanto, através dos registos dos diversos índices de redução modular verificou-se que, quer para 500Hz como para 2000Hz, a qualidade acústica do local é apenas condicionada pela sua reverberação, com valores mais desfavoráveis para a banda de oitavas de 500Hz (STI \approx 0.45), relativamente aos resultados para a banda de oitavas de 2000Hz (STI \approx 0.60).

3. ANÁLISE E DEFINIÇÃO DA SOLUÇÃO CORRECTIVA ADOPTADA

3.1 Proposta de intervenção

Tendo em conta a análise anterior, para além de aspectos arquitectónicos, funcionais e audiovisuais, foi possível estabelecer as seguintes linhas gerais da intervenção a realizar do ponto de vista acústico, nomeadamente:

- Diminuir o valor da relação Volume/Número de lugares.
- Aplicar material absorvente sonoro nas paredes para reduzir os tempos de reverberação e ressonâncias possíveis.
- Quebrar a horizontalidade do tecto existente.

Nesse sentido propôs-se uma solução que passava pela introdução de um tecto falso que permite reduzir o volume do auditório (por redução do pé-direito em mais de 1.00m), e simultaneamente permite ocultar todas as condutas de do sistema de ar condicionado e ventilação. Também o número de lugares foi incrementado de 102 para 135. Na tabela 3 são apresentados as novas características dimensionais do auditório após a sua reabilitação.

Relativamente aos materiais de revestimento absorventes apostou-se fundamentalmente em três tipos fundamentais de materiais a incorporar no sentido de ajustar os tempos de reverberação.

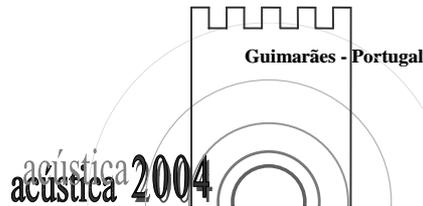
O primeiro revestimento foi considerado num lambrim decorativo com cerca de 2.10m e é constituído por painéis de réguas de madeira com secção de 55×20mm com frestas aparentes de 3mm de largura confinando uma câmara de ar com espessura superior a 50mm, preenchida com lã mineral. O seu funcionamento pode-se assemelhar a um ressoador em que a frequência de ressonância do sistema se aproxima dos 250Hz.

O segundo tipo de revestimento é formado por painéis ressonantes de contraplacado de madeira confinando camada de ar preenchida por lã mineral, situados de ambos os lados do estrado. Dada a natureza do revestimento, os coeficientes de absorção são superiores para as bandas de frequência de 125 e 250Hz.

O terceiro tipo de material absorvente é constituída por um cortinado pesado franzido, situado na zona posterior do estrado com coeficientes de absorção por oitavas de < 0.05, 0.25, 0.32, 0.45, 0.40, 0.35 >, cobrindo de igual forma a absorção em todas as bandas de frequências.

Ainda que não fosse particularmente considerado como uma superfície essencialmente absorvente, a consideração de um tecto falso em placas de gesso cartonado não deixará de se revelar como um painel ressonante, confinando um espaço de ar de grande dimensão no qual foi aplicada uma manta de lã mineral de 80mm de espessura sobre as placas do tecto no sentido de promover a absorção do som no seu interior. Os maiores valores de absorção verificam-se nas frequências de 125 e 250 Hz..

Relativamente ao pavimento foi primeira opção colocar um pavimento colado em madeira. No entanto, por questões de funcionalidade na execução foi decidido numa fase já avançada dos trabalhos colocar um pavimento constituído por uma alcatifa assente sobre base de feltro ou borracha, facto que veio a condicionar negativamente os tempos de reverberação após a reabilitação do local.



O valores dos coeficientes de absorção considerados anteriormente tiveram por base valores referenciados em diversas publicações técnicas. Estes valores condicionam fortemente os resultados estimados por simulação em computador, independentemente do método de previsão utilizado, no sentido de avaliar as possíveis soluções correctivas a adoptar.

Tabela 3 – *Características físicas do local após reabilitação*

Característica	Valor
Nº de lugares (N)	135
Volume (V)	435 m ³
Área útil (S)	135 m ²
Área ocupada pela audiência (S _a)	67 m ²
Área acústica da audiência (S _A)	99 m ²
Pé direito médio (H)	3.20 m
Comprimento médio (W)	13.50 m
Largura média (L)	9.20 m
Dist. orador à fila mais afastada (D)	10.8 m
Relação V/N	3.2
Relação V/S _A	4.4
Relação S _a /N	0.50
Relação S _A /N	0.73
Relação H/W	0.24
Relação L/W	0.68
Proporção W:L:H	8.4:5.8:2

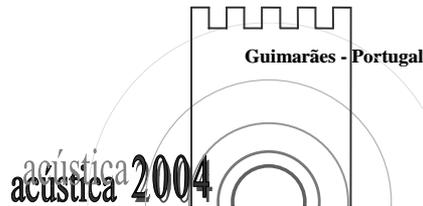
3.2 Simulação

Para a simulação da solução acústica adoptada foi utilizado o programa CATT–Acoustics – desenvolvido por CATT (Computer Aided Theatre Technique) de Gothenburg. Após a introdução da geometria e considerando os coeficientes de absorção atrás mencionados (*já com a utilização do revestimento a alcatifa do pavimento e estrado*), foi possível obter os valores indicados na tabela 4 para os parâmetros acústicos.

Relativamente ao índice RASTI obtiveram-se valores oscilando entre 0.72 (Bom) e 0.78 (Excelente).

Tabela 4 – *Parâmetros acústicos obtidos por simulação*

Frequência (Hz)	T ₃₀ (s)	T ₁₅ (s)	EDT (s)	C ₈₀ (dB)	D ₅₀	T _s (ms)
125	0.48	0.45	0.36	12.6	0.87	24
250	0.38	0.36	0.30	15.1	0.91	19
500	0.54	0.52	0.45	10.6	0.82	29
1000	0.58	0.58	0.49	9.7	0.79	32
2000	0.58	0.58	0.49	9.6	0.78	33
4000	0.59	0.59	0.52	9.2	0.77	34



4. SITUAÇÃO FINAL

Após a conclusão dos trabalhos de reabilitação, impunha-se a verificação dos valores estimados pelo método de simulação referido no ponto 3.2. Para tal seguiu-se a mesma metodologia referida no ponto 2.2 para a medição dos diversos parâmetros acústicos. Na tabela 5 apresentam-se os valores desses parâmetros para as diversas bandas de frequências.

Tabela 5 – Parâmetros acústicos avaliados após reabilitação

Frequência (Hz)	T ₃₀ (s)	T ₁₅ (s)	EDT (s)	C ₈₀ (dB)	D ₅₀	T _s (ms)
125	0.53	0.54	0.59	6.1	0.61	55
250	0.44	0.46	0.40	12.1	0.85	28
500	0.47	0.48	0.41	12.5	0.86	27
1000	0.52	0.51	0.50	10.3	0.78	33
2000	0.51	0.49	0.47	10.5	0.80	32
4000	0.52	0.48	0.42	12.6	0.87	26

Relativamente ao índice RASTI obtiveram-se valores oscilando entre 0.74 (Bom) para os lugares intermédios e 0.77 (Excelente) para os lugares mais próximos e mais afastados.

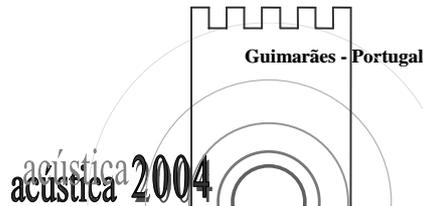
5. CONCLUSÃO

Face aos resultados obtidos por medição e simulação, verificou-se no essencial que a intervenção permitiu corrigir a elevada reverberação do auditório e melhorar a generalidade dos parâmetros acústicos restantes. Ainda que exista uma boa aproximação entre os valores estimados e os valores finais medidos após a execução dos trabalhos de reabilitação, pensam os autores que as principais diferenças são fruto de uma indefinição ou incerteza dos coeficientes de absorção considerados para os diversos materiais utilizados nos revestimentos, face à situação real aplicada em obra.

No que diz respeito aos valores medidos dos parâmetros acústicos, os principais aspectos dignos de nota prendem-se com os tempos de reverberação mais baixos do que o ideal, atendendo ao volume final do auditório (*valores entre 0,70 e 0,65s para frequências de igual ou superiores a 1kHz e entre 0,75 e 0,70s para frequências inferiores a 1kHz*), com destaque para as bandas de frequências de 125 e 500Hz e os reduzidos tempos centrais para todas as bandas de frequências (*inferior ao intervalo ideal compreendido entre 80 e 140 ms*).

Este facto poderá ser explicado devido à alteração do pavimento de madeira por outro em material mais absorvente nas bandas de frequência mais elevadas, tal como já era possível concluir do método de previsão e ao facto de se ter generalizado a solução de lambrim (*ressoador*) a todo o auditório por razões de natureza construtiva e arquitectónica.

É de registar a elevada adesão de docentes e responsáveis pela escola à reabilitação realizada, a qual poderá ser facilmente comprovada pelo número de eventos que foram aí realizados em pouco mais de quatro meses de funcionamento pleno do espaço. Em termos de apreciação de aspectos funcionais, o auditório tem-se revelado adequado para a realização dos eventos para que está destinado, apresentando boas características para a utilização de meios audiovisuais



(*projecção de filmes ou outro material com banda sonora gravada*). A principal limitação decorrente da elevada absorção do auditório prende-se com a audição de uma intervenção de um elemento situado na audiência por todos aqueles que se situam nas suas costas.

AGRADECIMENTOS

Agradecem os autores do presente artigo toda a disponibilidade da direcção da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico da Guarda pela colaboração prestada na realização do presente artigo, nomeadamente no que diz respeito à cedência do espaço para realizar todas as medições necessárias, na utilização dos equipamentos de medição acústica do Laboratório de Física das Construções do Departamento de Engenharia Civil e pela possibilidade de colaboração com o Sector Técnico do Instituto Politécnico da Guarda na definição da solução arquitectural para o auditório e medidas de condicionamento acústico a implementar.

REFERENCIAS

- [1] Leo Beranek. *Concert Halls and Opera Houses, Music, Acoustics and Architecture*. 2nd edition, Springer-Verlag Inc, New York, 2004
- [2] Higiní Arau. *ABC de la Acústica Arquitectónica*. Ediciones CEAC SA, Barcelona, 1999
- [3] Manuel R. López. *Acondicionamento Acústico*. Paraninfo SA, Madrid, 2001
- [4] CATT-Acoustics v7. *Room Acoustic Prediction and Desktop Auralization, User's Manual*.
- [5] Manuel R. López e Constantino G. González. *Acústica Arquitectónica*. Izquierdo, SA Electricidad, 1991
- [6] Pedro M. Silva. *Acústica de edifícios, Informação Técnica Edifícios 8*. LNEC, Lisboa 1978.