

Caracterização acústica de salas de audiências em tribunais

Carlos A. Monteiro*; António P. O. Carvalho**; José F. Gomes*

* *Escola Superior de Tecnologia e Gestão do IPG – Departamento de Engenharia Civil
Av. Dr. Francisco Sá Carneiro, 50, 6300-559 GUARDA, Portugal
aquino@ipg.pt; dse@mail.telepac.pt*

** *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Laboratório de Acústica
Rua Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 PORTO, Portugal, carvalho@fe.up.pt*

RESUMO: Com o artigo pretende-se sintetizar a caracterização acústica realizada em vinte e nove salas de audiências de tribunais portugueses, as quais foram classificadas em dois grupos distintos. As salas construídas antes de 1990 e as salas construídas ou remodeladas após essa data. Esta caracterização acústica teve por objectivo não só uma análise objectiva e subjectiva das salas, mas também permitir obter relações matemáticas simples entre os diversos parâmetros acústicos e entre estes e diversas características arquitectónicas.

ABSTRACT: The present paper aims to synthesise the acoustical characterization performed in twenty nine courtrooms in Portugal. The selection of the courtrooms was made to obtain two distinct groups. The rooms constructed before 1990 and the rooms constructed or remodelled after this date. As a result of the data analysis, simple mathematical formulas were obtained that relate among the objective acoustic parameters and between the objective acoustic parameters and architectural characteristics.

1. INTRODUÇÃO

O presente artigo pretende fundamentalmente sintetizar uma caracterização acústica mais alargada realizada em salas de audiências de diversos tribunais portugueses. Esta consistiu fundamentalmente numa análise subjectiva e numa análise objectiva das salas. A análise subjectiva foi efectuada através da distribuição de um inquérito aos profissionais que habitualmente desempenham as suas funções nesses espaços. Como os resultados obtidos não foram conclusivos devido à representatividade da amostra e ao facto de os resultados obtidos terem apontado mais no sentido do isolamento sonoro ou do ruído de fundo e não tanto no sentido do condicionamento acústico dos espaços interiores (indiciando reduzida sensibilidade dos utentes para estes aspectos mais particulares), não será efectuada neste artigo qualquer referência a esta análise. No que diz respeito à análise objectiva pretendeu-se fundamentalmente caracterizar os diversos parâmetros acústicos e arquitectónicos seleccionados no âmbito deste trabalho, comparando-os entre si e estabelecendo entre eles relações matemáticas de correlação. Com estas correlações pretende-se vir a reunir algum potencial de utilização quer ao nível do projecto quer ao nível da investigação, uma vez que será possível estimar alguns dos parâmetros a partir do conhecimento efectivo de outros desses parâmetros.

A recolha de registos foi executada em 29 salas de audiências com a data de construção compreendida entre a década de 1940 e o ano 2000. A amostra escolhida teve como principal condicionante a situação geográfica, os círculos judiciais mais próximos da cidade da Guarda e ainda garantir uma certa uniformidade na representatividade das salas relativamente ao período da sua construção. De referir ainda que o conjunto das salas estudadas representa um valor superior a 10% relativamente ao total das comarcas a nível nacional, o que de certa forma permite avaliar a representatividade da amostra escolhida.

Para efeitos de análise, as salas foram classificadas em dois grupos distintos. As salas construídas antes de 1990 (*salas de “construção antiga”*) e as salas construídas ou remodeladas após essa data (*salas de “construção recente”*). Esta subdivisão procurou de certa forma corresponder ao aparecimento e possível aplicação do Regulamento Geral do Ruído (Decreto-Lei 251/87 de 24 de Junho), ainda que a sua aplicação na prática se tenha revelado pouco eficiente na generalidade dos edifícios construídos após 1990. Segundo o referido critério, da amostra anterior, 15 salas podem-se considerar como de “construção antiga”, enquanto que 14 salas como de “construção recente”.

De futuro pretende-se vir a avaliar da possibilidade de extrapolar as conclusões do presente estudo para outros tipos de salas, onde a inteligibilidade da palavra é um dos aspectos fundamentais, tais como salas de reuniões, salas de aulas, etc.

2. AVALIAÇÃO REALIZADA

A realização das medições dos parâmetros acústicos e dos parâmetros arquitectónicos foi efectuada de acordo com um procedimento pré-definido, o qual foi seguido de igual forma em todas as salas, de modo a facilitar a análise posterior dos resultados obtidos com base numa uniformidade de critérios. Os parâmetros acústicos foram avaliados através da média dos valores obtidos em oito posições localizadas espacialmente de igual forma em todas as salas. A fonte localizava-se na secretária do juiz, e dos oito pontos de medição, cinco distribuíam-se em quincôncio na zona da assistência e os restantes três no lugar do réu e em cada um dos lugares dos advogados. Na figura 1 apresenta-se de uma forma esquemática a distribuição espacial dos pontos de medição dos diversos parâmetros acústicos.

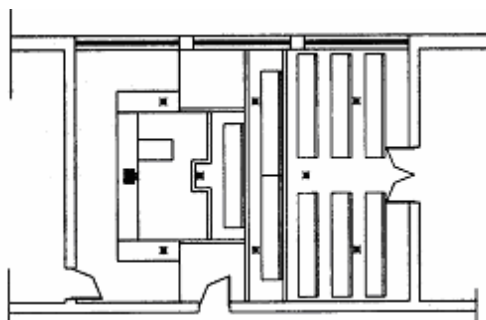


Fig. 1 – Distribuição espacial dos pontos de medição numa sala de audiências

Para o parâmetro RASTI as posições são semelhantes, considerando no entanto o emissor em duas posições distintas. Na secretária do juiz ou no lugar do réu.

Como parâmetros acústicos objecto de análise foram considerados o tempo de reverberação **TR**, o tempo de decaimento curto **EDT**, a claridade **C80**, a definição **D50**, o tempo central **TS** e o índice **RASTI** (Rapid Speech Transmission Index).

Relativamente às características arquitectónicas utilizadas na análise de possíveis correlações, foram criteriosamente escolhidos sete parâmetros de entre os mais utilizados em estudos acústicos, quer de salas de concerto, quer de igrejas. São eles o **volume total** (volume da sala, incluindo o volume das reentrâncias das portas e janelas, excluindo o volume da habitual elevação do pavimento da parte superior da sala, mas não excluindo o volume do mobiliário); a **área total** (área de todo o pavimento horizontal da sala incluindo reentrâncias das portas); a **altura média** (relação entre o volume total e a área total); o **comprimento médio** (valor médio dos comprimentos na direcção longitudinal da sala perpendicular à mesa do juiz); a **largura média** (valor médio das larguras); a **área de absorção sonora** (obtida através do cálculo matemático a partir dos coeficientes de absorção sonora médios para as bandas de frequências dos 500 e 1000 Hz de todas as superfícies envolventes não considerando o efeito do ar); o **número de lugares sentados** (número relacionado com os lugares da plateia, réus e testemunhas obtido através da observação in situ, admitindo 50 cm por lugar no caso de bancos corridos). Todos os parâmetros arquitectónicos foram avaliados por medição ou contagem directa em cada uma das salas de audiência.

Na tabela 1 são apresentados os valores máximos, mínimos e médios obtidos para os diversos parâmetros arquitectónicos. Tal como para os parâmetros acústicos, as duas últimas colunas referem-se aos valores médios obtidos de acordo com a subdivisão em “salas antigas” e “salas recentes”.

Tabela 1 - *Valores máximos, mínimos e médios dos diversos parâmetros arquitectónicos*

PARÂMETRO	Max.	Min.	Média total	Média salas antigas	Média salas recentes
Volume total (m ³)	880	150	440	513	362
Área total (m ²)	173	46	102	113	89
Altura média (m)	6,85	2,75	4,2	4,4	4,0
Comprimento médio (m)	15,5	8,3	12,2	13,3	11,1
Largura média (m)	11,5	5,0	8,2	8,4	7,9
Área de absorção sonora (m ²)	121,5	23,1	50,8	46,9	54,9
Lugares sentados	170	24	66	73	58

Para a realização da caracterização acústica destinada a estabelecer a correlação entre os parâmetros acústicos foram efectuadas, nas seis bandas de frequências (125 Hz a 4 kHz) e para cada um dos cinco parâmetros analisados (TR, EDT, C80, D50 e TS), três medições em cada um dos seis pontos previstos para cada sala das 29 salas de audiências, perfazendo um total de 15660 valores recolhidos. Relativamente ao parâmetro RASTI foram recolhidos 1344 valores correspondentes a 8 pontos de medição em cada uma das 28 salas em que se realizou esta avaliação, com duas localizações distintas da fonte sonora e três leituras em cada ponto. De referir que não foi realizada a determinação deste parâmetro numa das salas.

Na quantificação dos parâmetros acústicos apenas se recorreu ao valor médio obtido a partir das bandas de frequências de 500 e 1000 Hz, porque em trabalhos anteriormente realizados em salas de concertos, igrejas, etc. foi possível concluir que era nestas bandas de frequências onde se verificavam as melhores correlações entre parâmetros acústicos. Por outro lado, sendo a palavra o veículo de comunicação privilegiado nestes espaços, foi também entendimento dos autores que as bandas de frequências atrás referidas eram as mais representativas. A opção de medição por oitavas resultou fundamentalmente de três aspectos distintos, nomeadamente a existência de uma base de dados semelhante (oitavas) para salas de aulas, a redução dos tempos de medição (por vezes condicionados pela disponibilidade da sala entre sessões) e finalmente a pouca relevância das medições em terços de oitava para os fins pretendidos.

Na tabela 2 apresentam-se os valores máximos, mínimos e médios, obtidos para os diversos parâmetros acústicos objecto de análise, considerando a média aritmética dos valores obtidos nas bandas de oitavas de 500 e 1000 Hz. As duas últimas colunas referem-se aos valores médios obtidos de acordo com a subdivisão atrás referida entre “salas antigas” e “salas recentes”.

Tabela 2 - Valores máximos, mínimos e médios dos diversos parâmetros acústicos
(Média dos valores obtidos para as bandas de oitavas de 500 e 1000 Hz)

PARÂMETRO	Max.	Min.	Média total	Média salas antigas	Média salas recentes
TR (s)	3,55	0,46	1,58	1,69	1,43
EDT (s)	3,56	0,42	1,57	1,65	1,41
C80 (dB)	-3,34	4,50	1,03	0,74	1,33
D50	0,21	0,82	0,43	0,41	0,46
TS (ms)	253	30	110	117	102
RASTI	0,39	0,75	0,53	0,52	0,55

Com as figuras 2, 3 e 4 apresenta-se a título de exemplo a variação dos valores máximos, mínimos e médios verificados em cada sala de audiência do **tempo de reverberação**, do **tempo central** e do **índice RASTI** das diversas salas de audiência analisadas.

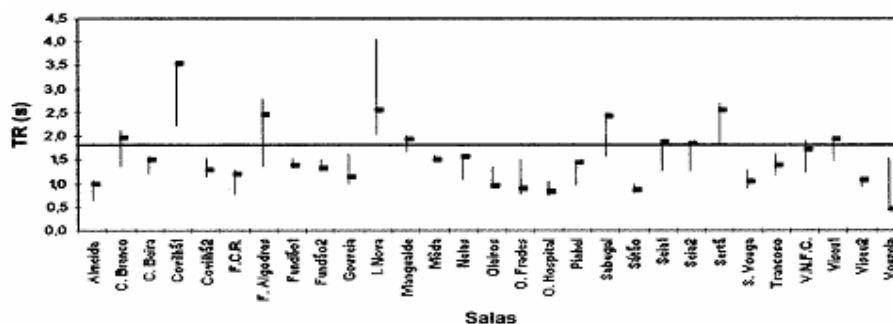


Fig. 2 – Valor de TR por salas com indicação do valor máximo, mínimo e médio
(a linha horizontal indica o valor médio de todas as 29 salas).

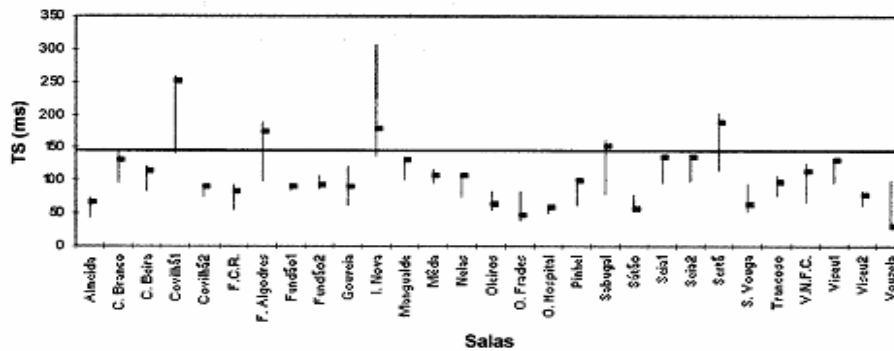


Fig. 3 – Valor de TS por salas com indicação do valor máximo, mínimo e médio (a linha horizontal indica o valor médio de todas as 29 salas).

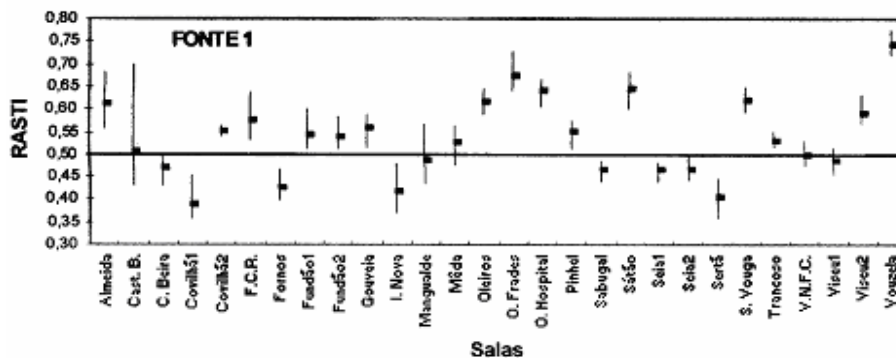


Fig. 4 – Valor do índice RASTI por salas com indicação do valor máximo, mínimo e médio (fonte no lugar do juiz) (a linha horizontal indica o valor médio de todas as 29 salas).

As correlações estabelecidas entre os parâmetros acústicos obtiveram-se usando os valores médios de cada sala para as frequências de 500 e 1000 Hz, estabelecendo equações simples do tipo linear ($y = ax + b$), do tipo polinomial de grau dois ($y = ax^2 + bx + c$), do tipo exponencial ($y = ae^{bx}$), do tipo potencial ($y = ax^b$) e do tipo logarítmico ($y = a \ln x + b$).

Através de todas as relações possíveis entre pares de parâmetros acústicos resultaram as equações descritas na Tabela 3, onde de todas as relações possíveis entre os diversos parâmetros acústicos, apenas indicam aquelas em que se verificou um melhor ajuste.

Nas figuras 5 a 7 apresenta-se a tradução gráfica dos modelos de regressão obtidos com a análise realizada para as três situações com melhor correlação, ou seja EDT vrs TR, TS vrs EDT e RASTI vrs TR.

Tabela 3 - *Melhores modelos de regressão entre pares de parâmetros acústicos usando os valores médios de cada sala.*

MODELO	CURVA	Correlação (R2)
Polinomial (grau 2)	$EDT = 0,0176 \times TR^2 + 0,9201 \times TR + 0,0278$	0,99
Polinomial (grau 2)	$TS = -1,1932 \times EDT^2 + 77,078 \times EDT - 4,9254$	0,99
Polinomial (grau 2)	$RASTI = 9 \times 10^{-6} \times TS^2 - 0,0039 \times TS + 0,8373$	0,98
Linear	$TS = 71,5413 \times TR - 3,0938$	0,98
Polinomial (grau 2)	$RASTI = 0,0455 \times EDT^2 - 0,2873 \times EDT + 0,8463$	0,97
Polinomial (grau 2)	$RASTI = -0,2329 \times D50^2 + 0,8195 \times D50 + 0,2266$	0,97
Exponencial	$D50 = 0,3536 \times e^{0,1435 \times C80}$	0,96
Exponencial	$TS = 390,1681 \times e^{-3,1617 \times D50}$	0,96
Polinomial (grau 2)	$RASTI = 0,0456 \times TR^2 - 0,2882 \times TR + 0,8540$	0,95
Polinomial (grau 2)	$TS = 2,0477 \times C80^2 - 24,8356 \times C80 + 123,6305$	0,95
Exponencial	$RASTI = 0,4888 \times e^{0,0704 \times C80}$	0,95
Polinomial (grau 2)	$C80 = 0,7933 \times EDT^2 - 6,0732 \times EDT + 8,1334$	0,94
Polinomial (grau 2)	$C80 = 0,7616 \times TR^2 - 5,9588 \times TR + 8,2069$	0,93
Logarítmica	$D50 = -0,3077 \ln(EDT) + 0,5344$	0,93
Potencial	$D50 = 0,5347 \times TR^{-0,7178}$	0,92

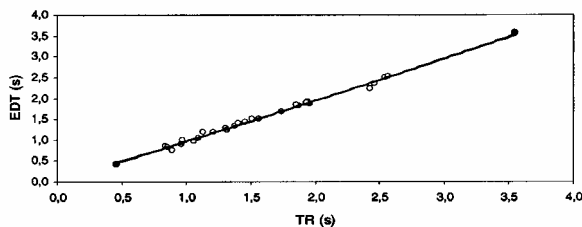


Figura 5 – Tradução gráfica do modelo de regressão obtido entre TR e EDT

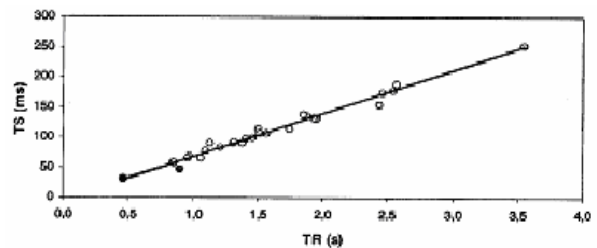


Figura 6 – Tradução gráfica do modelo de regressão obtido entre TR e TS

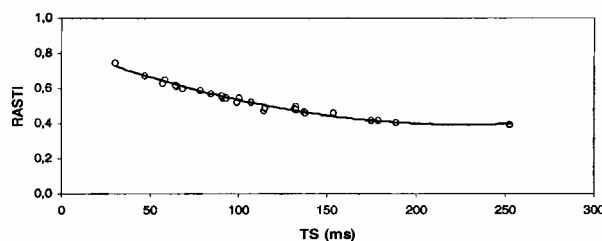


Figura 7 – Tradução gráfica do modelo de regressão obtido entre TS e RASTI

Na análise estatística usada para determinar o relacionamento que existe entre os parâmetros arquitectónicos e os parâmetros acústicos, o procedimento seguido é igual ao anteriormente descrito, relacionando os valores médios dos parâmetros acústicos

para as frequências de 500 e 1000 Hz com os valores médios dos parâmetros arquitectónicos. Das relações estabelecidas obtiveram-se diversas equações como as que são descritas na Tabela 4, onde apenas se apresentaram as que possuíam um coeficiente de correlação R2 superior a 0,50 (valor ainda razoável para os fins em estudo).

Tabela 4 - *Melhores modelos de regressão simples entre os pares de parâmetros acústicos e parâmetros objectivos de cada sala de audiências.*

MODELO	CURVA	Correlação (R2)
Polinomial (grau 2)	$C80 = 0,2407 \times H^2 - 3,7599 \times H + 12,305$	0,56
Linear	$EDT = 0,0025 \times V + 0,4519$	0,54
Linear	$TS = 0,178 \times V + 31,5044$	0,53
Potencial	$RASTI = 1,0419 \times H^{-0,4875}$	0,53
Potencial	$TR = 0,2296 \times H^{1,3113}$	0,52
Potencial	$EDT = 0,2125 \times H^{1,3437}$	0,52
Linear	$TR = 0,0025 \times V + 0,5002$	0,52
Potencial	$TS = 14,441 \times H^{1,3787}$	0,52
Potencial	$D50 = 1,6078 \times H^{-0,9743}$	0,51

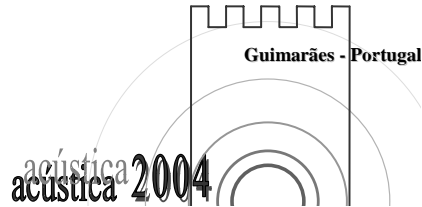
4. CONCLUSÕES

Recorrendo apenas aos três parâmetros acústicos indicados nas figuras 2, 3 e 4, é possível constatar o mau desempenho acústico de 5 das 29 salas (duas das quais de “construção recente”) e que dessas mesmas 29 salas, 6 tem um comportamento razoável (três das quais de “construção antiga”) e apenas uma delas apresenta um bom desempenho acústico (Vouzela).

Relativamente aos valores dos parâmetros acústicos, considerando a separação entre salas de construção antiga e salas de construção recentes, não se detectam diferenças significativas, registando-se apenas uma melhoria sensível dos valores médios dos diversos parâmetros acústicos. No que diz respeito aos parâmetros arquitectónicos destaca-se apenas a menor dimensão das salas de audiência de construção mais recente (traduzida pelos menores valores médios do volume, área e lugares sentados) relativamente às de construção mais antiga.

Relativamente aos modelos de regressão indicados na tabela 3, considerando a totalidade das salas, é possível concluir que:

- Todos os parâmetros têm uma boa correlação entre si, existindo uma predominância para correlações do tipo polinomial de grau dois;
- Para todos os modelos de regressão considerados entre pares de parâmetros acústicos, o coeficiente de correlação R2 é superior a 0,92;



- Os melhores modelos de regressão entre pares de parâmetros acústicos objectivos usando os valores médios de cada sala, encontram-se entre parâmetros TR e EDT e entre os parâmetros EDT e TS. Como seria de esperar os parâmetros TR e EDT apresentam uma correlação elevada, uma vez que o seu significado físico é idêntico;
- Numa análise global o parâmetro TS, é o que melhor se relaciona com todos os outros, seguindo-se o parâmetro RASTI, EDT, TR, D50 e por fim o parâmetro C80. Fazendo uma análise dos coeficientes de correlação R2 entre o parâmetro TS e os restantes parâmetros pode-se concluir que em média este tem um valor superior a 0,97, e em nenhum dos casos tem valores inferiores a 0,95.

Quando se considera a relação verificada entre os parâmetros acústicos e os parâmetros arquitectónicos, as melhores correlações verificam-se entre o pé-direito H e a generalidade dos parâmetros acústicos, com um coeficiente de correlação R2 superior a 0,50. O outro parâmetro arquitectónico correlacionado com os parâmetros acústicos com valores de R2 superiores a 0,50 é o volume V, em especial com o TR, EDT e TS. Todas as restantes correlações testadas entre parâmetros acústicos e parâmetros arquitectónicos obtiveram correlações com valores R2 inferiores a 0,50, pelo que não foram referenciados no presente artigo.

REFERENCIAS

- [1] C. A. Monteiro; *Caracterização acústica de salas de audiências de tribunais*. Dissertação de Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, 2003.