



# Os Cadernos de Encargos e a Fiscalização na Especialidade de Acústica: Aplicação à Concepção e Construção de Salas de Espectáculo

O. Inácio<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Laboratório de Acústica Musical, Escola Superior de Música e Artes do Espectáculo do IPP, Rua da Alegria 503, 4000-045 Porto, Portugal, [OctavioInacio@esmae-ipp.pt](mailto:OctavioInacio@esmae-ipp.pt)*

**RESUMO:** Portugal tem assistido nos últimos anos a um aumento do investimento na construção de espaços para as Artes do Espectáculo. Este tipo de empreendimentos, de importância inquestionável para a qualidade de vida dos portugueses, reveste-se de uma grande complexidade não só em termos das áreas técnicas específicas como a mecânica de cena, iluminação, áudio e vídeo, como na própria concepção arquitectural e de engenharia na qual se inclui a especialidade de Acústica. O processo de concepção destes espaços deve-se iniciar pela elaboração de um programa preliminar por parte do dono da obra que permite transmitir as intenções e objectivos principais do funcionamento do novo edifício aos projectistas. Nesta fase, a correcta especificação de requisitos acústicos é fundamental para facilitar a evolução e a qualidade de todo o processo de concepção e construção. Neste trabalho é efectuada uma reflexão sobre experiências recentes na elaboração de cadernos de encargos de salas de espectáculo na sua componente acústica, não só sob o ponto de vista da concepção, mas também as suas implicações na construção, na fiscalização e na verificação dos requisitos aquando da entrega da obra.

**ABSTRACT:** In recent years Portugal has seen a significant increase in the investment for the construction of spaces for the Performing Arts. This type of enterprises, of incontestable importance for the quality of life of the Portuguese, involve great complexity not only in terms of technical areas specific to these buildings such as lighting, audio and video setups, but also in the architectural and engineering design which include the branch of Acoustics. The conception of these spaces must be initiated by a preliminary program carefully prepared by the owner by which he communicates the intentions and main objectives of the new building to the architect and its consultants. In this phase, the correct specification of the acoustical requirements is essential to ease to the evolution and to insure the quality of the conception process and subsequent construction. In this work some considerations are made on recent experiences in the preparation of the acoustical part of these types of documents for Performing Arts spaces. This is done not only considering the conception process, but also its implications in the construction, the inspection procedures and the confirmation of the acoustical requirements after the construction works are finished.

## 1. INTRODUÇÃO

Poucos edifícios carecem de um esforço de planeamento, projecto e obra tão intensivo na área da Acústica como os que albergam espaços destinados às Artes do Espectáculo.

A concepção deste tipo de edifícios, destinados à realização de concertos, ópera, teatro ou ao ensino da música, entre outros, reveste-se de uma grande complexidade não só em termos das áreas técnicas específicas como a mecânica de cena, iluminação, áudio e vídeo, como na própria concepção arquitectural e de engenharia na qual se inclui a especialidade de Acústica.

O sucesso de um processo de concepção e construção destes espaços está necessariamente associado à qualidade da equipa de projecto e dos responsáveis pela construção, mas também, e muitas vezes determinadamente, à intervenção do dono da obra. O desejo pela qualidade, capacidade de cooperação e de gerir compromissos, a clara compreensão do objectivo do edifício em questão e a dedicação para o finalizar são características essenciais da participação eficaz do dono da obra [1]. Esta intervenção faz-se em diferentes fases do processo: na elaboração do programa preliminar, em que se definem os objectivos, características orgânicas e funcionais, os condicionamentos financeiros e os horizontes temporais da obra; na selecção das equipas de projecto e de construção; durante a realização do projecto e da obra, usualmente como entidade fiscalizadora; e finalmente, embora com um menor poder de controlo sobre o resultado final, na recepção provisória e definitiva da obra concluída. Todas estas intervenções devem referir-se, por sua vez, a cada uma das especialidades envolvidas e, principalmente no tipo de edifícios em discussão, à especialidade de Acústica.

Portugal tem assistido nos últimos anos a um aumento do investimento na construção de espaços para as Artes do Espectáculo. No entanto, este investimento nem sempre se traduz num resultado proporcional ao valor empreendido dado o grau de desconhecimento por parte das entidades promotoras de algumas condicionantes técnicas extremamente importantes à prossecução do projecto. Apesar de infelizmente não ser uma atitude generalizada, alguns donos de obra fazem-se valer de especialistas em cada uma das áreas técnicas específicas para acompanhar todo o processo de elaboração deste tipo de edifícios. Nomeadamente quando os processos de adjudicação implicam a associação do acto da concepção ao da construção, em concursos denominados por Concepção/Construção, esta necessidade de intervenção especializada torna-se indispensável. Um aspecto determinante é a realização de uma análise orçamental consciente e conhecedora da realidade deste tipo de edifícios, previamente à selecção de um projectista. Fazer esta análise após essa selecção resulta por vezes em descalabros orçamentais, atrasos na construção ou até o abandono do projecto, como é do conhecimento público. As catástrofes orçamentais em teatros, salas de concerto e multiuso ocorrem usualmente devido a um ou mais dos seguintes problemas:

- Um orçamento inicial mal preparado;
- O não reconhecimento da complexidade deste tipo de projectos;
- O âmbito do projecto e os objectivos a que foram destinados desviarem-se sem reconhecimento ou correcção durante as várias fases da concepção [2].

Neste artigo faz-se uma reflexão sobre a forma como se poderão processar algumas destas fases, no âmbito da engenharia Acústica e especificamente no panorama português, nomeadamente durante a elaboração dos documentos que dão início a processos de Concepção/Construção, durante a fase de fiscalização e na recepção de obra de salas de espectáculo.

## **2. O CONCURSO CONCEPÇÃO/CONSTRUÇÃO**

O concurso Concepção/Construção, que processa a selecção de um determinado concorrente dentro de um conjunto de candidatos para a elaboração do projecto e a construção de uma edificação, implica a elaboração de um ou mais documentos por parte do dono da obra que

definam não só as normas do concurso e os critérios de avaliação das propostas mas também, de uma forma clara e precisa, as intenções e objectivos do edifício em questão.

Neste tipo de concurso, e para obras de maior complexidade, o dono da obra solicita usualmente aos concorrentes a apresentação uma proposta que englobe um projecto base que servirá para a elaboração do projecto de execução. Esta situação está prevista no artigo 11.º do Decreto-Lei 59/99 de 2 de Março que estabelece o Regime Jurídico das Empreitadas de Obras Públicas e que é utilizado como uma das bases legais para a realização destes concursos.

Nesta situação, o dono da obra deve “*definir, com suficiente precisão, em documento pelo menos com o grau equivalente ao de programa base, os objectivos que deseje atingir, especificando os aspectos que considere vinculativos*” [5].

No entanto, o Programa Base é um documento usualmente elaborado pelo projectista, a partir do programa preliminar fornecido pelo dono da obra onde se faz a verificação da viabilidade da obra. Após a aprovação pelo dono da obra, irá constituir a base para o desenvolvimento das fases ulteriores do projecto, devendo, portanto, proporcionar a compreensão clara das soluções de projecto, de acordo com as indicações expressas no programa preliminar [6].

Relativamente à componente Acústica do projecto, o Programa Base deve apresentar alguns elementos importantes, descritas em [7] para edifícios no âmbito do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, e que aqui se reescrevem:

- Termos de referência objectivo do condicionamento acústico da obra a realizar;
- Tipificação das principais inerências resultantes da adopção dum critério de comportamento acústico, designadamente respeitantes à orientação e inserção dos volumes a construir e à organização dos espaços interiores;
- Definição dos critérios gerais de dimensionamento;
- A descrição e avaliação das condições acústicas exigidas e o equacionamento das soluções a considerar como forma de satisfazer aquelas exigências específicas;
- Informação sobre a necessidade de obtenção de elementos característicos da componente acústica do ambiente (mapa do ruído ou relatório sobre recolha de dados acústicos), bem como sobre a realização de estudos em modelo, ensaios, trabalhos de investigação e quaisquer outras actividades ou formalidades que podem ser exigidas, quer para a elaboração do projecto, quer para a execução da obra.

Considerando os elementos anteriormente descritos como válidos para os edifícios agora tratados, gera-se aqui um dos pontos mais críticos na elaboração de Caderno de Encargos para concursos Concepção/Construção, dadas as dificuldades que pode trazer para a evolução de todo o processo do concurso. Por um lado o dono de obra deve definir um Programa Base com grau suficiente de detalhe que faça valer os seus objectivos, por outro lado este documento pode incorporar pormenores que deveriam ser apenas determinados pelos concorrentes, já que podem condicionar de forma determinante as suas opções de projecto. Qual deverá ser o grau de detalhe do Programa Base para que este não influencie de forma castradora a criatividade e engenho dos projectistas, conseguindo simultaneamente assegurar um processo justo de selecção de um concorrente e o cumprimento dos objectivos do dono da obra? Onde se estabelece o limite?

São várias as opiniões sobre a resposta a esta questão, mas sem dúvida que o melhor resultado só poderá surgir de um documento elaborado por uma equipa multidisciplinar, representante do dono da obra, que conheça a fundo os requisitos técnico-funcionais do edifício em análise

e que, vincando os objectivos e os requisitos que pretendem assegurar para o espaço, mantenham constantemente presente que não são os projectistas do edifício. Simultaneamente este documento deve tentar assegurar ao dono da obra, e dado que depois de seleccionado um projecto base que cumpra os objectivos aí definidos este deve evoluir para um projecto de execução sem alterações significativas (de acordo com o artigo 106.º do Decreto-Lei 55/99), que independentemente da evolução posterior do processo de concepção ficarão asseguradas condições mínimas de qualidade do edifício em questão.

### 3. O CADERNO DE ENCARGOS

O caderno de encargos é o documento que contém, ordenadas por artigos numerados, as cláusulas jurídicas e técnicas, gerais e especiais, a incluir no contrato a celebrar [4]. É aqui que pode encontrar anexado o documento estabelecido pelo dono da obra que define o Programa Base e outras condições técnicas específicas para o projecto em questão.

Quando a componente de Acústica tem algum peso na avaliação global das propostas submetidas ao concurso Concepção/Construção, como usualmente é o caso no tipo de edifícios a que nos estamos a referir, é importante assegurar que existam meios de averiguar a qualidade e viabilidade das propostas apresentadas. A forma de o fazer pode e deve vir estabelecida no Caderno de Encargos ou documentos anexos.

Infelizmente é corrente verificar neste tipo de documentos referências à intervenção da especialidade de Acústica escrita nas seguintes formas: “As salas devem ter a melhor Acústica possível” ou “A Acústica tem que ser boa” [3] ou ainda “A Acústica dos espaços deve ser tomada em consideração”, entre muitas outras frases sem qualquer rigor ou objectividade.

Da mesma forma se verifica a apresentação de propostas, na forma de Projecto Base, concretamente na componente da intervenção da especialidade de Acústica, em que apenas se faz referência a intenções de concretização de medidas de condicionamento acústico e não se estabelecem rigorosamente os critérios, as soluções e a justificação das medidas que se prometem executar.

Torna-se portanto imprescindível, em favor de uma correcta avaliação da componente acústica dos vários projectos a concurso, criar formas de uniformizar a apresentação das propostas. Isto é normalmente feito exigindo a apresentação de determinados elementos escritos e/ou desenhados, comuns a todos os concorrentes. O grau de exigência de detalhe na apresentação destes elementos deve ser feito também com grande precaução, para que não se exija mais do que aquilo que um Projecto Base deve apresentar, nem menos do que o necessário à prossecução do projecto de execução.

Não se pretende discutir neste artigo quais os elementos de índole Acústica que se deverão exigir para apresentação neste tipo de concursos. No entanto, considera-se importante reflectir sobre a relevância, pertinência e até praticabilidade da utilização de alguns parâmetros e critérios acústicos que usualmente se quantificam em cadernos de encargos.

#### 3.1 Critérios e Parâmetros Acústicos

Para definir os critérios acústicos a exigir num caderno de encargos é essencial prever a possibilidade de os conseguir avaliar correctamente. Por este facto devem ser escolhidos

parâmetros cuja mensurabilidade não seja de difícil execução nem de incerteza considerável e que, obviamente, caracterizem acusticamente os espaços em questão.

### 3.1.1 Parâmetros de Acústica Interna

A literatura na especialidade de Acústica é rica na definição de critérios para o condicionamento acústico interno de diferentes espaços, concretamente para salas de espectáculos [8,9], pelo que não se fará aqui uma revisão de todos os parâmetros e os valores que devem tomar.

O cálculo da maior parte dos parâmetros utilizados hoje em dia, são baseados em operações matemáticas efectuadas à função de resposta ao impulso obtida em diferentes pontos no espaço em análise, de acordo com [10]. Nestes incluem-se os que se obtém por análise do decaimento e/ou pela integração numérica da função de resposta ao impulso medida num determinado ponto usando um só microfone omnidireccional (Tempo de Reverberação,  $T_{30}$  e  $T_{20}$ , o Tempo de Decaimento Inicial [11] ou Early Decay Time (*EDT*), Clareza  $C_{80}$  ou Definição  $D_{50}$ , Strength Factor *G*, entre outros) ou usando dois microfones (Lateral Fraction *LF* ou Interaural Cross-Correlation Coefficient *IACC*). Destes últimos, é necessária precaução na sua imposição pois, apesar de importantes, os seus métodos de medição não são de realização tão expedita.

A especificação de critérios relativos a estes parâmetros deve ser feita para as situações de presença e ausência de audiência (ver [10]) e nas várias configurações possíveis de Acústica Variável que possam ser previstas pelos projectistas para cumprimentos dos objectivos do Programa Base. Adicionalmente estes parâmetros poderão ser quantificados em intervalos de valores mínimos e máximos. A imposição de um intervalo permite a utilização pelos proponentes de critérios mais adequados à sua preferência dentro de valores considerados aceitáveis, desde que estes não sejam entendidos como a dispersão de valores que os parâmetros podem tomar nos vários pontos da sala.

Por outro lado, os parâmetros que permitem a avaliação do ruído residual e que são determinantes para a qualidade acústica no interior dos espaços são baseados na medição do nível sonoro emitido por diferentes equipamentos ou por outras actividades que não as decorrentes nos espaços em análise. Destacam-se as curvas NC, RC, NR ou RC, entre muitas outras e que se podem encontrar descritas na literatura da especialidade, por exemplo [12]. Estas curvas destinam-se essencialmente à análise do ruído emitido por equipamentos de ventilação e ar condicionado (AVAC), embora também sejam usadas em outras situações. As curvas RC revelam-se de particular interesse dado que permitem não só uma quantificação mas também a caracterização da qualidade do espectro sonoro em questão, nas altas, médias e baixas frequências [13].

Simultaneamente, o nível de pressão sonora contínuo equivalente, *Leq*, com as ponderações que se julgarem adequadas, deve ser utilizado para avaliação de outros tipos de ruído também extremamente relevantes que não os de instalações AVAC, como o proveniente de salas adjacentes ao espaço em análise, de circulações, de outros equipamentos e até do exterior. No caso da não utilização das curvas anteriormente descritas para caracterização deste ruído, a sua medição deve ser realizada em bandas de 1/3 de oitava, para detecção da possível presença de componentes tonais.

### 3.1.2 Parâmetros de Isolamento Sonoro

Os níveis de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão pressupõem a existência de um recinto receptor e um recinto emissor de ruído. Se forem definidos critérios relativos ao isolamento sonoro é essencial descrever claramente quais são os recintos receptores e emissores a que se referem. Coloca-se então a questão de quais os parâmetros a utilizar dos vários estabelecidos nas normas aplicáveis, nomeadamente a EN ISO 140-4:1998, EN ISO 140-7:1998, EN ISO 717-1:1996 e EN ISO 717-2:1996, ou as suas correspondentes nacionais. Uma breve análise aos métodos de medição e à sua exequibilidade em espaços menos ortodoxos como são as salas de espectáculo (relativamente às divisões de uma habitação, por exemplo), permite chegar a uma possível conclusão.

- a) O parâmetro  $R'_w$ , índice de redução sonora aparente, relaciona a potência sonora que incide sobre um dos lados de uma partição que divide duas salas, com a potência sonora total transmitida para a sala receptora. Apesar de ser um parâmetro que avalia uma característica intrínseca de uma divisória aplicada numas determinadas condições fronteiriças do que para definir o resultado final do isolamento sonoro entre dois espaços, faz-se referência pelo facto de se encontrar definido em diversos cadernos de encargos com esse propósito. A fórmula de cálculo dos valores de  $R'$  que lhe dão origem, está definida na Equação 1.

$$R' = D + 10 \log \frac{S}{A} \quad (1)$$

Esta fórmula implica a medição da área do elemento separador em causa  $S$  e da área de absorção sonora equivalente do recinto receptor,  $A$ , para além da óbvia diferença de níveis  $D$  entre ambos os receptores.

- b) O parâmetro  $D_{n,w}$ , índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, é definido por intermédio dos valores das diferenças normalizadas,

$$D_n = D - 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (1)$$

em que  $A_0$  é uma área de absorção de referência, que no caso de salas de habitações ou salas de dimensões comparáveis, deverá ser de  $10 \text{ m}^2$ . Também neste caso é necessária a avaliação de uma área de absorção sonora equivalente.

- c) O parâmetro  $D_{nT,w}$ , índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, difere do anterior pela utilização de uma normalização efectuada através do tempo de reverberação medido na sala receptora e um tempo de reverberação de referência,

$$D_{nT} = D + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (1)$$

em que  $T_0$  deverá ser de 0,5 s no caso de espaços de habitações.

Dos parâmetros apresentados a escolha deverá incidir sobre o que seja representativo da eficácia de isolamento sonoro entre dois espaços e que simultaneamente seja de fácil determinação. No tipo de salas a que nos referimos neste artigo, nem sempre se torna simples medir a área do elemento separador entre dois espaços, dadas as formas mais arrojadas que estes espaços podem tomar, seja por razões estéticas ou por necessidades técnicas. Por outro

lado a determinação da área de absorção sonora equivalente implica a utilização da fórmula de Sabine e a determinação do volume do espaço receptor. Pela mesma razão descrita anteriormente, a determinação deste volume pode não ser uma tarefa fácil. Apenas por estas razões de ordem prática é possível assumir o parâmetro  $D_{nT,w}$  como o de mais simples e eficaz utilização.

Para além destes parâmetros poderia também ser utilizada simplesmente a diferença de níveis,  $D$ , entre os dois espaços. Neste caso não é efectuada qualquer normalização a um tempo de reverberação ou área de absorção de referência. Desde que a sua avaliação seja realizada nas condições finais da obra é um parâmetro que traduz o isolamento sonoro entre os dois espaços realmente percebido. No entanto, e pelo facto de na maior parte das situações as medições de isolamento sonoro nem sempre serem efectuadas com a obra completamente acabada (por exemplo sem cadeiras da audiência), é preferível usar um meio de normalização relativamente a determinadas condições de referência, como o tempo de reverberação  $T_0$  anteriormente definido.

Essas condições de referência, porém, não devem ser definidas relativamente a um valor de tempo de reverberação de 0,5 s, dado que é um valor característico de espaços muito diferentes da maioria dos encontrados em salas de espectáculos. Assim, recomenda-se a especificação de um  $T_0$  para cada espaço que tiver associado um parâmetro de isolamento sonoro. Normalmente este valor será o que foi especificado como critério de condicionamento acústico interno para esse espaço.

Estas considerações são também válidas para os parâmetros de isolamento sonoro de fachadas e elementos de fachada dos edifícios bem como a sons de percussão.

#### 4. A FISCALIZAÇÃO

O papel da equipa de fiscalização na componente acústica do projecto e da obra, essencialmente nesta, é fundamental para o cumprimento dos objectivos estabelecidos. Se a verificação final dos resultados através de medições acústicas e vibratórias é um processo que permite avaliar o que ficou bem ou mal projectado ou construído, não permite evitar as situações que levaram a um mau desempenho acústico. Quando isso acontece os custos de resolução dos eventuais problemas são muitas vezes proibitivos para a realização de qualquer acção correctiva. A intervenção de uma equipa de fiscalização deve assegurar o cumprimento em obra do projecto da especialidade de Acústica, alertar para possíveis erros decorridos em obra para situações previstas e não previstas em projecto e auxiliar o dono da obra no diálogo com projectistas e empreiteiros e na tomada de decisões relativas ao processo. Isto implica que exista um elemento na equipa com conhecimentos sólidos em Acústica para conseguir, por um lado, conhecer o anteprojecto e o projecto de execução para esclarecimento de dúvidas e comparação com o estabelecido no caderno de encargos; para descobrir pormenores errados na execução não previstos em projecto; mas também para não impedir a continuação de uma obra por questões que podem ser resolvidas sem interrupções desnecessárias. Nas figuras 1a), 1b) e 1c) podem-se ver alguns casos típicos de erros em pormenores construtivos que não são muitas vezes observados por equipas de fiscalização sem um olhar atento à componente acústica da obra.

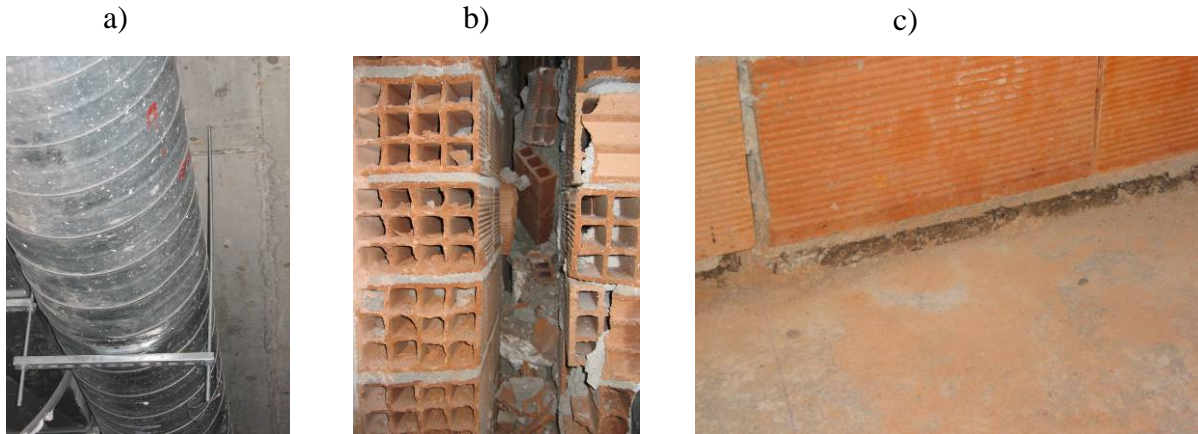


Figura 1 – a) *Suspensões rígidas nas ligações de condutas de AVAC; b) Excedentes de alvenaria no interior da caixa-de-ar de uma parede dupla c) Excedente de argamassa diminuindo a eficácia do apoio resiliente da parede de alvenaria.*

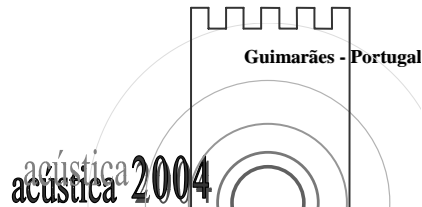
## 5. CONCLUSÃO

Neste artigo fez-se uma breve abordagem a alguns temas relacionados com a elaboração de cadernos de encargos de salas de espectáculo na sua componente acústica, não só sob o ponto de vista da concepção, mas também as suas implicações na construção, na fiscalização e na verificação dos requisitos aquando da entrega da obra. Apesar de não ser se descrever nem quantificar exhaustivamente os critérios acústicos a utilizar, ponderou-se a utilização preferencial de alguns parâmetros tendo em consideração aspectos práticos ao longo do processo de concepção e construção.

## REFERÊNCIAS

- [1] R. Talaske; *Introduction to the Design Process*, in *Acoustical Design of Musical Education Facilities*, E. McCue, R. Talaske (Ed.), Acoustical Society of America, 1990.
- [2] S. A. Donnell; *Cost Management for Performing Arts Centers or 'Svengal in the Wings*, in *Theatres for Drama Performance: Recent Experiences in Acoustical Design*, R. H. Talaske, R. E. Boner (Ed.), Acoustical Society of America, 1986.
- [3] D. Bond; *Of Ships, Shoes, Sealing Wax, Marriage and Acoustics*, in *Theatres for Drama Performance: Recent Experiences in Acoustical Design*, R. H. Talaske, R. E. Boner (Ed.), Acoustical Society of America, 1986.
- [4] Decreto-Lei 59/99 de 2 de Março, Artigo 64.º, N.º 1.
- [5] Decreto-Lei 59/99 de 2 de Março, Artigo 11.º, N.º 1 e 2.
- [6] <http://www.acusticaeambiente.pt/AcusticaEdif/AcusticaEdif.htm>





- [7] R. Calejo; *Avaliação de Honorários: Projectos de condicionamento acústico de edifícios no âmbito do Decreto-Lei 129/2000 de 11 de Maio*, Primeiras Jornadas de Engenharia Acústica, Lisboa, 2004.
- [8] M. Barron; *Auditorium Acoustics and Architectural Design*, E & FN Spon, 1<sup>st</sup> Edition, London, 1993.
- [9] L. Beranek; *Concert Halls and Opera Houses: Music Acoustics and Architecture*, 2<sup>nd</sup> Edition, Springer-Verlag, New York, 2004.
- [10] ISO 3382:2000; Acoustics. *Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters*.
- [11] L. Henrique; *Acústica Musical*, 1<sup>a</sup> Edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2003.
- [12] D. A. Bies, C. H. Hansen; *Engineering Noise Control: Theory and Practice*, Spon Press; 2<sup>nd</sup> Edition, 1996.
- [13] W. E. Blazier; *RC Mark II: A refined procedure for rating noise of heating ventilating and air conditioning (HVAC) systems in buildings*. Noise Control Eng. 45, pp. 243-250, 1997.