

## IMPACTO DO RUÍDO GERADO NO ACESSO A UM PEQUENO AUDITÓRIO

J. A. Furtado Gomes<sup>1</sup>, C. M. Aquino<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escola Superior de Tecnologia e Gestão – Instituto Politécnico da Guarda  
jafurtado@ipg.pt, aquino@ipg.pt

### Resumo

Pretende-se com o artigo caracterizar a interferência do ruído ambiente produzido próximo da entrada de um pequeno auditório sobre a comunicação verbal no seu interior. Apesar da sua recente reabilitação, procurou-se caracterizar de forma objectiva qual a possível razão para alguns comentários de utilizadores do auditório relativamente à sua qualidade acústica. A avaliação incidiu fundamentalmente no efeito de um campo sonoro exterior gerado próximo da entrada de acesso ao auditório, nomeadamente ao nível da distribuição dos níveis sonoros e da inteligibilidade da palavra no seu interior.

**Palavras-chave:** auditórios, ruído, inteligibilidade da palavra.

### Abstract

The aim of this paper pretend to characterize the interference on verbal communication of a noisy sound source, locate near a small auditorium entrance. In spite of a recent acoustic auditoria rehabilitation, we try to evaluate objectively the origin of some users complains. To reach this objective some evaluations of the sound field generate inside the auditoria, in order to estimate the effect of an exterior noise source. Several measurements have also been carried in order to make a evaluation of the quality speech transmission.

**Keywords:** auditoria, noise, rules, quality speech transmission.

## 1 Introdução

Após uma recente reabilitação de um auditório pertencente à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico da Guarda, em que se privilegiaram fundamentalmente as condições internas do próprio auditório, foi possível verificar a existência de outros factores externos ao próprio auditório, que poderiam de certa forma comprometer a qualidade do espaço em termos de inteligibilidade da palavra. Estamos fundamentalmente a considerar o ruído produzido no corredor da escola em que se situa o auditório, o qual, á semelhança do que se verifica em toda a escola, apresenta valores da área de absorção sonora inferiores aos mínimos propostos no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) (Decreto-Lei nº 125/2002 de 11 de Maio com as alterações

introduzidas pelo Decreto-Lei nº 96/2008 de 9 de Junho). De uma forma sumária estimou-se um valor para a média aritmética das áreas de absorção obtidas para as bandas de oitava centradas nas frequências de 500, 1000 e 2000 Hz da ordem dos 15 a 20%, contra o mínimo regulamentar de 25%.

Em face do exposto será previsível que, atendendo à configuração do auditório, suas características de absorção e localização do acesso, que a existência de uma fonte de ruído situada no corredor, possa comprometer a qualidade acústica no interior do auditório, especialmente no que se refere à inteligibilidade da palavra.

Para analisar o problema, foram realizadas duas medições distintas. Numa primeira fase foi avaliada a distribuição dos níveis de pressão sonora no interior do auditório resultantes do ruído emitido por uma fonte sonora colocada no exterior do auditório, junto à sua entrada. De seguida foi realizada diversas medições do índice RASTI no interior do auditório, considerando a fonte de ruído parada ou em funcionamento por forma a avaliar o impacto do ruído na degradação verificada no sinal produzido por um emissor em vários pontos receptores considerados de forma uniforme pelos lugares do auditório.

No sentido de potenciar o efeito da fonte sonora sobre a inteligibilidade da palavra no interior do auditório, no caso concreto as medições anteriores foram realizadas com a porta do auditório aberta.

## 1.1 O auditório

O auditório em questão foi objecto de uma recente intervenção no sentido de o dotar de condições adequadas não só ao nível do condicionamento acústico, mas também no que se refere a condições de conforto termo-higrométrico, ventilação e apetrechamento com equipamento de reforço sonoro e meios audiovisuais. Após a intervenção sobre o espaço foi possível obter um espaço destinado a funcionar essencialmente como auditório, onde seria também possível realizar outras actividades onde o recurso a meios audiovisuais fosse importante, nomeadamente a projecção de filmes sonorizados. Assim pretendia-se com a primeira intervenção que o auditório apresentasse condições de absorção compatíveis com as actividades que aí se pretendiam realizar, nomeadamente a comunicação oral e a comunicação através de registos gravados.

Os valores finais obtidos para o auditório após a sua reabilitação foram os seguintes:

Tabela 1 – Parâmetros acústicos do auditório após a reabilitação

Frequência (Hz)	TR (s)	EDT (s)	C <sub>80</sub> (dB)	D <sub>50</sub>	RASTI
125	0,62	0,64	6,1	0,61	0,74
250	0,54	0,49	12,1	0,85	
500	0,54	0,48	12,5	0,86	a
1000	0,56	0,53	10,3	0,78	
2000	0,56	0,52	10,5	0,80	0,77
4000	0,63	0,57	12,6	0,87	

Atendendo ao volume do auditório (cerca de 400 m<sup>3</sup>) e às actividades aí a desenvolver, poderá afirmar-se que os objectivos desta intervenção inicial foram atingidos, uma vez que se pretendiam obter valores para os tempos de reverberação da ordem dos 0.60 – 0.65 segundos, valores do tempo de reverberação imediato EDT inferiores aos tempos de reverberação, valores de Definição D<sub>50</sub> superiores a 0.65, valores da claridade C<sub>80</sub> superiores a 6 e um índice RASTI superior a 0.75.

Com excepção da banda de oitavas de 125 Hz, os parâmetros acústicos foram plenamente conseguidos, tendo-se no entanto verificado um valor ligeiramente excessivo para a absorção acústica do auditório, que se prevê ser resultado de uma alteração verificada no revestimento do pavimento durante o decurso dos trabalhos de reabilitação e de alguma indefinição nos coeficientes de absorção efectivos dos diversos materiais de revestimento e mobiliário aplicado no interior do auditório.

Com a normal utilização do auditório foi possível verificar a existência de queixas relativamente ao ruído proveniente do corredor de acesso ao auditório e de alguma dificuldade na percepção da palavra para determinadas localizações do emissor no interior do auditório.

## 1.2 Medições realizadas

Para avaliar a interferência do ruído produzido no corredor contíguo ao auditório nas condições de inteligibilidade da palavra e do efeito que a localização de um emissor situado na audiência possa ter na percepção da palavra em diversos outros pontos do mesmo, foram realizadas as seguintes medições.

- Medição do ruído ambiente no interior do auditório;
- Caracterização do ruído emitido pela fonte sonora considerada;
- Variação do ruído emitido pela fonte sonora no interior do auditório;
- Medição do Rapid Speech Transmission Index (RASTI) no interior do auditório sem a presença de qualquer ruído específico e sem o recurso ao sistema de amplificação existente no auditório. O emissor foi considerado no local habitualmente ocupado pelos palestrantes;
- Medição do índice RASTI no interior do auditório sem a presença de qualquer ruído específico e com o recurso ao sistema de amplificação existente no auditório. O emissor foi considerado no local habitualmente ocupado pelos palestrantes;
- Medição do índice RASTI no interior do auditório com a presença da fonte sonora e sem o recurso ao sistema de amplificação existente no auditório. O emissor foi considerado no local habitualmente ocupado pelos palestrantes;
- Medição do índice RASTI no interior do auditório sem a presença da fonte sonora e sem o recurso ao sistema de amplificação existente no auditório, considerando o emissor situado no meio da audiência e orientado para o local habitualmente ocupado pelos palestrantes.

Para a realização das medições anteriores recorreu-se ao equipamento existente no laboratório, com excepção da fonte sonora, a qual, pelo facto de se pretender que a mesma funcionasse de forma contínua durante todo o período das medições e apresentasse níveis sonoros próximo dos emitidos por um grupo de pessoas conversando no corredor, conduziu à adopção de um pequeno electrodoméstico com motor eléctrico. Na figura 1 indica-se o nível médio de pressão sonora por bandas de oitavas obtido para diversos pontos situados a cerca de um metro de distância da fonte utilizada na medição. Tal como se poderá constatar da referida figura, com excepção da banda de oitavas de 125 Hz, a fonte apresentava valores compreendidos entre 66 e 71 dB para as restantes bandas de frequências.

Apesar de não transparecer na figura 1 a fonte sonora adoptada, pelo facto de se tratar de um motor eléctrico, apresentava componentes tonais nas bandas de terços de oitava de 100 e 315 Hz, facto que motivou uma análise por terços de oitavas dos níveis verificados no auditório.

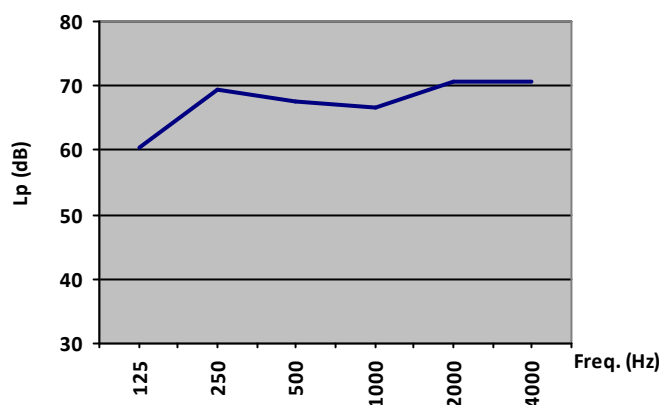


Figura 1 – Nível médio por bandas de oitavas dos níveis de pressão sonora da fonte adoptada nas medições

Na avaliação dos níveis de pressão sonora do ruído ambiente e do ruído emitido pela fonte sonora considerada e dos níveis de pressão registados ao longo do auditório devido à presença da fonte sonora no corredor contíguo próximo da entrada do auditório, foi adoptado um analisador 2260 Investigator da Brüel & Kjær. O analisador foi ainda utilizado para avaliação dos tempos de reverberação, juntamente com um amplificador modelo 2716 e uma fonte sonora modelo 4296, ambos também da Brüel & Kjær.

Para a avaliação do índice RASTI recorreu-se a um medidor da transmissão da palavra da Brüel & Kjær 3361, constituído por um transmissor tipo BK4225 e um receptor BK4419.

Os parâmetros acústicos EDT,  $C_{80}$  e  $D_{50}$  referenciados no Quadro 1 resultaram das medições realizadas em 2004 após a reabilitação do auditório.

## 2 Análise dos resultados

Das diversas medições realizadas apresentam-se nos pontos seguintes alguns dos aspectos mais relevantes registados durante a realização das mesmas, bem como uma possível interpretação de alguns dos resultados obtidos.

### 2.1 Medição dos níveis de ruído ambiente

A medição do ruído ambiente no interior do auditório destinou-se essencialmente a avaliar a existência de componentes tonais, já que os níveis existentes no local não comprometem por si só os resultados das medições dos níveis de ruído produzidos no interior do auditório durante o funcionamento da fonte sonora.

Após uma análise imediata dos resultados obtidos, foi possível constatar a existência de componentes tonais no ruído ambiente para a banda de frequência de 100Hz. Este facto que poderá em grande parte explicar alguma da dificuldade verificada nas primeiras medições na avaliação dos tempos de reverberação para esta banda de frequências em alguns pontos do auditório. Para ultrapassar este condicionalismo optou-se por realizar as medições com o recurso de um sistema de iluminação alternativo ao do auditório.

## 2.2 Avaliação dos tempos de reverberação

Para avaliação dos tempos de reverberação foram escolhidas três posições para a fonte sonora e seis pontos uniformemente distribuídos pelo auditório para medição dos tempos de reverberação. A medição foi realizada por terços de oitava, tendo-se verificado inicialmente alguma dificuldade na determinação dos tempos de reverberação para a banda de 100 Hz em duas das posições da fonte sonora, tal como já foi referido no ponto anterior.

Após recurso a uma fonte de iluminação alternativa, foi possível determinar os valores médios dos tempos de reverberação no auditório para todas as bandas de frequência, verificando-se uma grande concordância entre os resultados das diversas medições, apresentando-se graficamente na figura 2 os valores obtidos.

Tal como se poderá constatar pela referida figura a reverberação apresenta valores muito uniformes para todas as bandas de terços de oitavas, oscilando entre os limites de 0,84 s para a banda de 100Hz e os 0,48s para a banda de 8000 Hz. Nas restantes bandas de terços de oitavas os tempos de reverberação quantificados para o auditório apresentam valores muito constantes, variando entre 0.63 e 0.51 s.

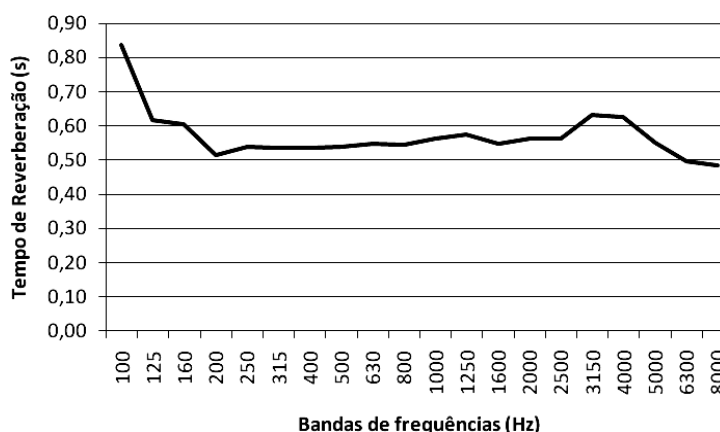


Figura 2 – Tempos médios de reverberação existentes no auditório

## 2.3 Medição dos níveis de pressão no interior do auditório

Para avaliar os níveis de pressão sonora no interior do auditório produzidos pela fonte de ruído colocada do corredor, foram seleccionados 11 pontos distribuídos por todo o auditório, quer na zona da audiência, quer na zona dos palestrantes.

Após a realização das medições por bandas de terços de oitava, procedeu-se à análise dos resultados obtidos, considerando os níveis de pressão no sentido de avaliar de que forma se processava a atenuação sonora no interior do auditório.

Na figura 3 apresentam-se sob a forma gráfica as variações dos níveis globais de pressão sonora no interior do auditório, sendo possível avaliar de que forma as suas características de absorção contribuem para reduzir os níveis de ruído provenientes do exterior. Como seria de esperar os níveis de ruído mais elevados situam-se fundamentalmente na zona posterior direita da audiência, enquanto que os níveis de ruído mais baixos se situam nas primeiras filas.

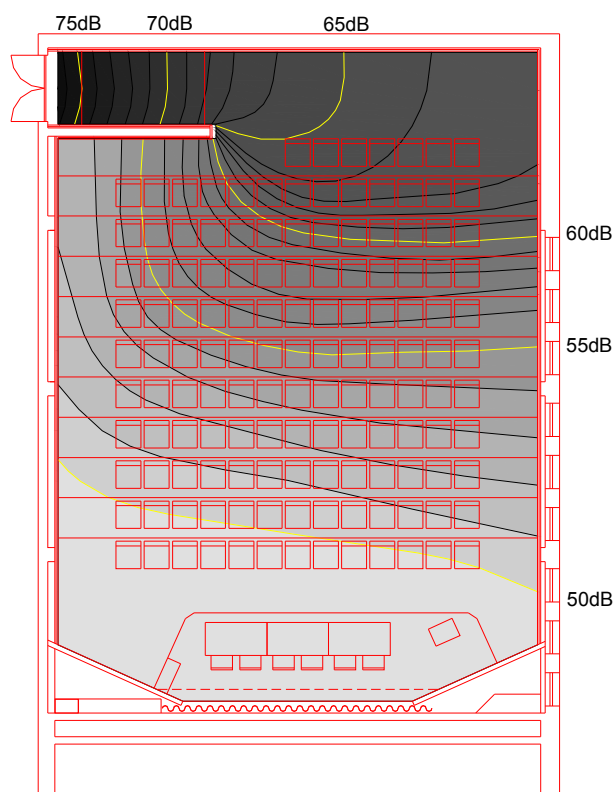


Figura 3 – Distribuição dos níveis de pressão gerados no interior do auditório pela fonte sonora junto à entrada

Da figura é possível verificar que se verifica uma atenuação superior aos 10dB para os lugares posteriores do auditório, garantida em cerca de 5 a 5,5 metros de comprimento, enquanto que para as primeiras filas se verifica uma atenuação superior a 25 dB.

## 2.4 Medição do índice RASTI

As medições realizadas do índice RASTI tiveram por base o analisador B&K 3361 atrás referido e tiveram como base tentar dar uma resposta a quatro situações distintas.

- Verificar os resultados das medições realizadas após a reabilitação do auditório (sem ruído ambiente significativo).
- Avaliar em que medida o sistema de amplificação sonora existente no auditório afecta o índice RASTI (sem ruído ambiente significativo).
- Avaliar o impacto sobre o índice RASTI do ruído emitido pela fonte sonora considerada próximo da entrada do auditório.
- Determinar em que medida a maior absorção do auditório relativamente ao ideal, compromete a inteligibilidade da palavra nos diversos pontos da plateia, quando o emissor se situa no centro da mesma, orientado para o local dos palestrantes.

Tal como seria de esperar tendo em conta as dimensões do auditório e as suas características de absorção, no que se refere aos resultados das medições realizadas no auditório após a sua reabilitação, os resultados obtidos são praticamente coincidentes para toda a audiência e não se verifica uma grande dispersão de valores, oscilando entre 0.74 e 0.77, com um valor médio de 0.76, a que corresponde uma

classificação entre o bom e o excelente numa escala subjectiva relativamente à inteligibilidade da palavra. Nas medições mais recentes confirmaram-se não só os valores anteriores do índice RASTI como também o facto curioso de os pontos que apresentavam os valores mais elevados se situarem na zona central e posterior direita da audiência e os valores mais reduzidos se situarem no lado esquerdo da zona posterior. Finalmente foi também possível verificar que em termos médios, ao compararem-se os índices de redução da modulação obtidos com os valores esperados para um caso de um decaimento exponencial puro, obteve-se uma boa aproximação dos valores medidos com os valores teóricos, quer para as bandas de oitavas de 500 e 2000 Hz, facto que indiciava a não existência de ecos ou de outro tipo de acidentes acústicos no interior do auditório, já que o ruído ambiente durante as medições é muito baixo.

Quando se procedeu à análise dos valores do índice RASTI recorrendo ao sistema de amplificação da sala, verificou-se curiosamente que os resultados obtidos pioraram ligeiramente, com valores compreendidos entre 0.70 e 0.75, mantendo-se no essencial as localizações com os valores mais elevados e mais reduzidos.

Quando se considera o funcionamento da fonte sonora, verificou-se uma alteração significativa dos valores apresentados, com uma redução substancial nos pontos mais próximos da entrada e mais directamente sob a influência do campo sonoro gerado pela fonte de ruído. Assim, foi possível registar valores da ordem dos 0.59 nos pontos junto ao fundo do auditório, até 0.74 para os pontos mais próximos da zona dos palestrantes. Na figura 4 apresenta-se de uma forma simplificada a variação do índice RASTI na zona da audiência, verificando-se uma clara evolução do canto posterior direito, para o canto anterior esquerdo, o qual se encontra mais afastado da influência do ruído produzido próximo da entrada do auditório.

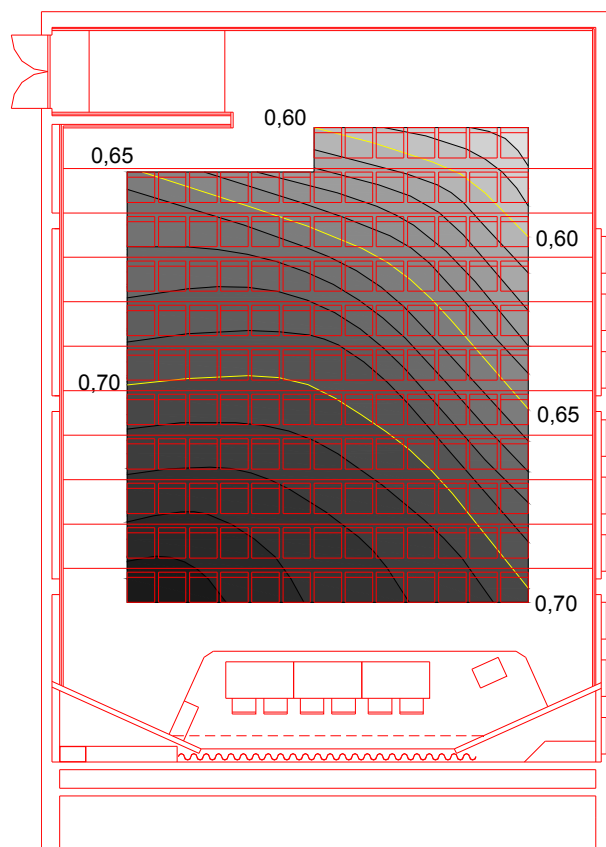


Figura 4 – Valor dos índices RASTI registados no interior do auditório considerando o funcionamento da fonte sonora junto à entrada

Quando se analisa o efeito sobre a inteligibilidade da palavra em diversos pontos da audiência para a situação de um dos seus elementos situado numa posição central falar orientado para os palestrantes, a situação não se altera significativamente apesar da maior absorção sonora do auditório relativamente ao valor ideal. Assim, alterando a posição do emissor para uma posição central, foi possível verificar que o índice RASTI apresenta valores compreendidos entre 0.78 e 0.72 para as posições situadas em frente ao emissor (primeiras filas do auditório) piorando ligeiramente para as filas situadas na zona posterior da fonte (zona posterior do emissor), com valores da ordem dos 0.67.

### 3 Conclusões

Uma primeira conclusão que se poderá retirar dos resultados obtidos com a medição do campo sonoro gerado no corredor de acesso ao auditório reside no facto de não existirem diferenças significativas nas variações dos níveis de ruído quando analisamos os níveis globais de ruído ou quando efectuamos a análise por bandas de frequência. Este facto poderá em parte ser explicado pela grande uniformidade das características de absorção do auditório com a frequência. Com excepção das frequências inferiores a 125Hz, verifica-se que até aos lugares mais próximos da entrada do auditório, a redução dos níveis de ruído é superior a 10 dB e que se pode verificar uma redução superior a 20 dB em cerca de 2/3 dos lugares.

Outra conclusão a retirar reside no efeito que o corredor de entrada possui como forma de protecção sonora relativamente à maioria dos lugares do auditório, sendo responsável por reduzir rapidamente os níveis de ruído antes dos primeiros lugares, ainda que pelo facto de não existir uma barreira que impeça a visão directa dos últimos lugares do auditório, uma parte dos lugares posteriores são afectados pelo campo sonoro gerado no corredor. Sem a colocação da parede na entrada do auditório e a criação de uma espécie de túnel de acesso, o número de lugares afectados pelo referido campo sonoro seria substancialmente superior.

Relativamente às medições do índice RASTI foi possível concluir que para as situações habituais de utilização o auditório apresenta uma certa uniformidade de características que subjectivamente se poderiam considerar entre o bom e o excelente, quando o nível de ruído ambiente não apresenta valores significativos. Quando existem um nível de ruído já apreciável no corredor de acesso ao auditório, facilmente verificado quando existem aglomerações de pessoas conversando próxima da entrada do auditório, verifica-se uma degradação das condições de inteligibilidade da palavra nos lugares mais próximos do fundo, afectando cerca de 10 a 15 lugares, para os quais o índice poderá apresentar características que subjectivamente se poderiam considerar como médias, dependendo dos níveis de ruído em causa. Para esta situação foi também possível com as medições estabelecer uma relação directa entre a degradação dos níveis de pressão sonora no auditório (figura 3) com os valores obtidos para o índice RASTI (figura 4).

Relativamente ao sistema de amplificação do auditório, foi possível concluir que para situações em que o nível de ruído ambiente não são particularmente elevados, quer devido a fontes externas quer devido à própria audiência, a sua utilização de um modo geral prejudica ligeiramente a inteligibilidade da palavra. Por este motivo a sua utilização apenas deverá ser considerada para audição de registos gravados ou em presença de um ruído ambiente com valores significativos.

Quanto ao efeito das características de absorção da sala quando o orador se situa no meio da audiência orientado para a frente do auditório, os resultados obtidos não indiciam que a situação seja particularmente gravosa quando não temos níveis do ruído ambiente significativos, já que para os lugares mais desfavoráveis se poderão continuar a considerar numa escala subjectiva relativamente à inteligibilidade da palavra como bons. Apesar de não ter sido efectuado uma avaliação concreta nesse sentido, no caso de existir uma fonte de ruído no corredor de acesso, é possível que os resultados esperados fossem significativamente mais desfavoráveis para os lugares situados mais próximos da entrada.



Ainda para a situação do emissor se situar numa zona central da audiência, foi possível verificar a existência de ecos residuais, para os lugares mais próximos do fundo da sala, os quais se podem em parte justificar pela baixa absorção sonora da parede situada nas costas dos palestrantes e pela diferença entre os percursos do som directo e da onda reflectida na referida parede (cerca de 15 a 16 metros).

Como medida fundamental para tentar ultrapassar em grande medida o problema, sugere-se a aplicação de um sistema de fecho automático das portas do auditório no sentido de se conseguir de forma imediata uma atenuação da ordem dos 15 dB.

### **Agradecimentos**

Os autores do presente artigo agradecem à direcção da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico da Guarda, pela disponibilização das instalações e meios necessários á realização das medições acústicas que serviram de base ao presente artigo.

### **Referências**

- [1] Higini Arau. ABC de la Acustica Arquitectonica. Ediciones CEAC SA, Barcelona, 1999
- [2] Manuel R. Lopez. Acondicionamento Acústico. Paraninfo SA, Madrid, 2001
- [3] Speech Transmission Meter Type 3361 Instruction Manual. Brüel & Kjær, 1986
- [4] International Standard IEC 60268-16, 2003