

## ESTUDO DA QUALIDADE ACÚSTICA EM AUDITÓRIOS

MARCO A. OLIVEIRA<sup>1</sup>, SANDRA M. SILVA<sup>2</sup>, TANIA C. FORTES<sup>3</sup>, LUIS M. BRAGANÇA<sup>4</sup>

1: Escola de Engenharia da Universidade do Minho  
engenharia@confortus.com.br

2: Escola de Engenharia da Universidade do Minho  
sms@civil.uminho.pt

3: Escola de Engenharia da Universidade do Minho  
www.uminho.pt

4: Escola de Engenharia da Universidade do Minho  
braganca@civil.uminho.pt

**Palavras-chave:** Acústica de salas, tempo de reverberação, inteligibilidade da palavra.

**Resumo** *As condições acústicas de um espaço devem proporcionar um ambiente sonoro adequado às atividades que aí são desenvolvidas, especialmente nos locais destinados à palavra, como por exemplo em salas de aula. O objetivo deste trabalho é o estudo da qualidade acústica, em especial a qualidade da audição da palavra durante as aulas, de quatro auditórios de uma instituição de ensino superior. Para a realização deste estudo foram selecionados auditórios com diferentes características, tendo-se realizado medições e análises do tempo de reverberação nos referidos ambientes para identificar os principais problemas existentes a nível da acústica de salas. Para além da avaliação “in situ” do tempo de reverberação dos auditórios estudados, fez-se a avaliação subjetiva dos mesmos baseada em inquéritos aos alunos e professores que os frequentam.*

### 1. INTRODUÇÃO

Um dos principais aspetos a ser considerado no projeto de um auditório é o desempenho acústico, pois este tipo de espaço é destinado a tarefas que exigem altos níveis de concentração por parte de alunos e professores ao longo de várias horas [1]. Entretanto, apesar do consenso de que a qualidade acústica de um ambiente é capaz de influenciar diretamente o processo de aprendizagem, o que se verifica na maioria das vezes é a inobservância das normas de conforto acústico no projeto e na construção de tais ambientes. Partindo-se desse pressuposto é que foi realizado este estudo, tendo por objetivo principal avaliar a qualidade acústica de auditórios com características diferentes, através de medições “in situ” do tempo de reverberação, bem como através do cálculo do índice RASTI e de inquéritos aos utilizadores dos auditórios estudados.

### 2. DESCRIÇÃO

#### 2.1. Caracterização dos auditórios

Os auditórios que fazem parte da amostra estudada foram designados por A, B, C e D, localizam-se numa instituição de ensino superior e possuem características construtivas diferentes. O Auditório A possui geometria quadrada com dimensões de 12.15 m x 11.6 m e pé direito médio de 3.0 m. Tem um hall de entrada e na parede de fundo tem uma zona técnica fechada de forma retangular e um corredor de acesso à saída de emergência. Essa zona técnica não foi alvo de estudo para este trabalho. O pavimento e quase a totalidade das paredes são revestidos a cortiça e o teto é de gesso cartonado. A porta principal é de madeira e a porta da zona técnica e da saída de emergência são de ferro. Este auditório tem onze filas, com onze cadeiras estofadas em cada fila, e as mesas são de madeira. A Figura 1 ilustra a planta do Auditório A mostrando a geometria do mesmo com a posição dos pontos de medição e da fonte sonora.

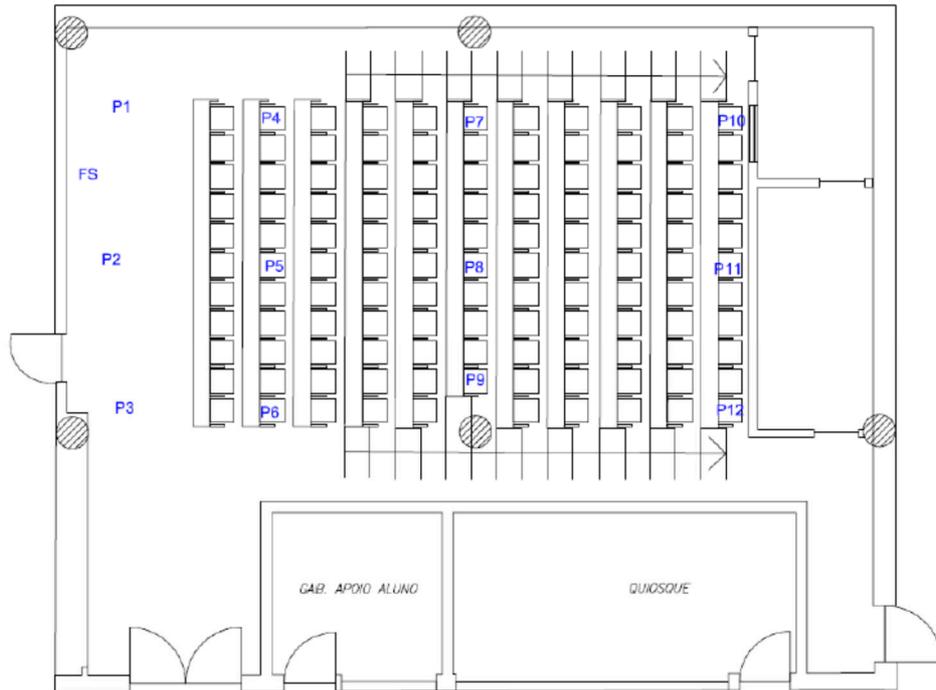


Figura 1. Planta do Auditório A mostrando os pontos de medição e posição da fonte sonora

O Auditório B possui geometria retangular com dimensões de 15.6 m x 8.0 m. As paredes são revestidas a madeira, até 2 m de altura e o teto é de gesso cartonado. O pavimento é revestido a madeira. Este auditório é composto por treze filas de dez cadeiras cada, todas de madeira, e as mesas também são de madeira. O Auditório B tem 5.5 m de pé direito no local onde se posiciona o orador, enquanto no extremo oposto do ambiente tem aproximadamente 2.8 m. A Figura 2 ilustra a planta do Auditório B mostrando a geometria do mesmo com a posição dos pontos de medição e da fonte sonora.

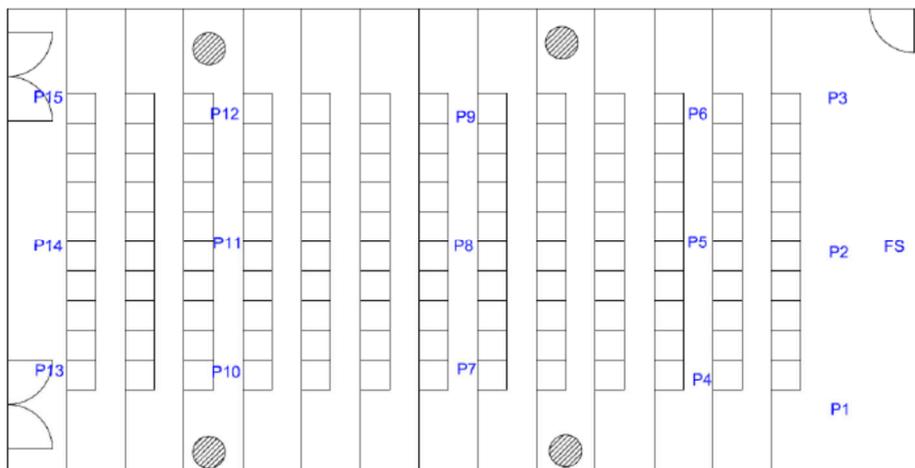


Figura 2. Planta do Auditório B mostrando os pontos de medição e posição da fonte sonora

O Auditório C é de geometria retangular com dimensões de 9.24 m x 14.1 m. É composto por dez fileiras de treze cadeiras cada, e mesas todas de madeira. As paredes, frontal e de fundo, são de reboco liso, e as laterais são revestidas a madeira, com alturas variáveis. O pavimento é de linóleo e o teto é de gesso cartonado. Este auditório tem escadas na parede de fundo que direcionam até a saída de emergência. Tem envidraçados na parte superior de uma das paredes laterais que proporcionam luminosidade ao ambiente.

A Figura 3 ilustra a planta do Auditório C mostrando a geometria do mesmo com a posição dos pontos de medição e da fonte sonora.

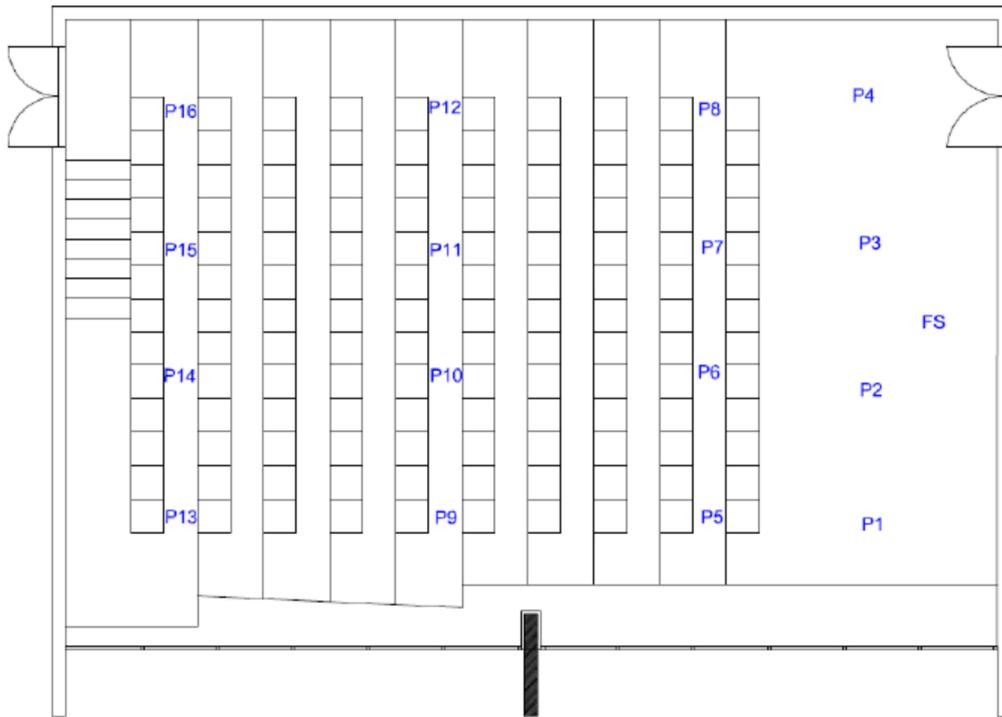


Figura 3. Planta do Auditório C mostrando os pontos de medição e posição da fonte sonora

O Auditório D tem uma geometria retangular com dimensões de 7.25 m x 14.98 m com pé direito de 2.5 m na parte mais baixa e de 5.85 m na parte mais alta. Este auditório possui inclinação acentuada, com oito filas de dez cadeiras cada, e mesas em madeira. O pavimento e as paredes, até 1 m de altura, também são revestidos a madeira. Tem um hall de entrada em forma retangular no início da sala, com portas também em madeira. O local onde o professor leciona é um palco, ou seja, é ligeiramente elevado cerca de 1 m acima do primeiro patamar. A Figura 4 ilustra a planta do Auditório D mostrando a geometria do mesmo com a posição dos pontos de medição e da fonte sonora.

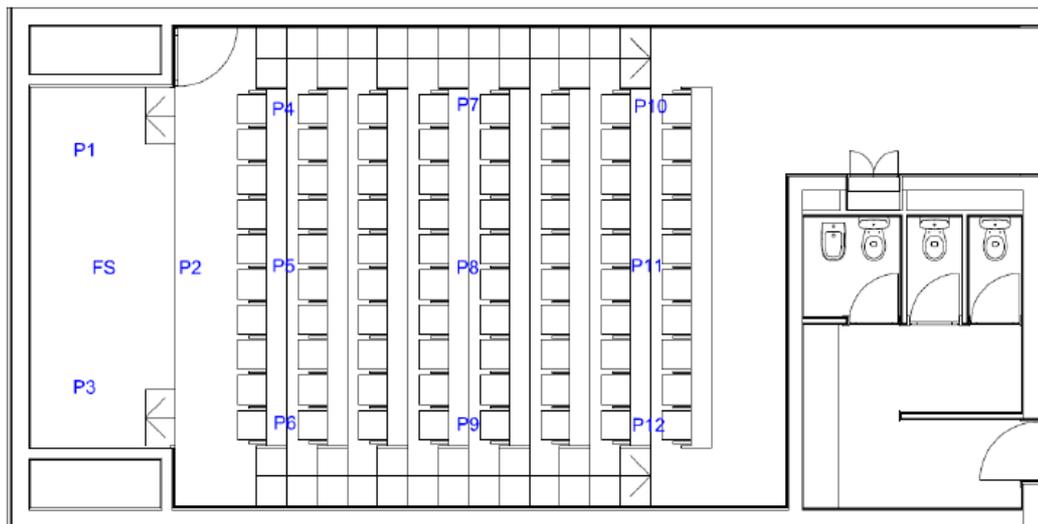


Figura 4. Planta do Auditório D mostrando os pontos de medição e posição da fonte sonora

## 2.2. Metodologia

A metodologia para avaliar a qualidade acústica dos auditórios desenvolveu-se a partir de dados quantitativos e qualitativos. Inicialmente foram realizadas medições do tempo de reverberação (T60) em bandas de 1/3 de oitava para cada auditório com o microfone situado a pelo menos 1 m das paredes ou de superfícies refletoras, a 1.5 m das janelas e portas e entre 1.2 m a 1.5 m acima do pavimento [4]. Para a realização da medição do tempo de reverberação, necessária ao desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados os seguintes equipamentos: sonómetro CEL modelo 573.C1 classe de exatidão 1 nº de série 3/1011913, calibrador acústico modelo CEL-284/2 nº de série 4/06124406, microfone e pré-amplificador modelo CEL 250 nº de série 4105, gerador de ruído modelo CEL 513 nº de série 074270, fonte sonora modelo B & K 4224 nº de série 1776816, cabo de ligação gerador de ruído / fonte sonora referência C6658/20-01, cabo de ligação sonómetro / gerador de ruído referência C6660/5 e tripé. A Figura 5 ilustra os equipamentos utilizados nas medições do tempo de reverberação nos auditórios estudados.



Figura 5. Equipamentos utilizados nas medições do T60

Os resultados das medições acústicas foram então comparados com os tempos de reverberação regulamentares respectivos a cada auditório, de acordo com o estabelecido no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios [2]. A seguir foram efetuados cálculos dos índices % Alcons e RASTI, na frequência de 500 Hz, a fim de classificar a inteligibilidade da palavra em cada auditório [3]. Finalmente, tendo por objetivo avaliar a percepção dos professores e alunos em relação à qualidade acústica dos auditórios para a audição da palavra, foram elaborados inquéritos direcionados a cada grupo. O objetivo destes inquéritos foi o de avaliar as opiniões relativamente ao ambiente acústico dos auditórios, de modo a identificar os fatores psicossociais que influenciam a sensação de conforto acústico nos seus ocupantes. Sequencialmente os inquéritos foram analisados e recolhidas as informações dos alunos e professores em cada auditório. As perguntas foram de respostas rápidas e simples para os dois grupos para que o inquérito não tomasse muito tempo da aula, excetuando a última pergunta que era de resposta aberta, podendo ou não ser respondida. Os resultados destes inquéritos complementaram as medições do tempo de reverberação realizadas e os cálculos de RASTI.

## 3. RESULTADOS

Os valores regulamentares do tempo de reverberação de cada auditório, de acordo com o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. T60 regulamentar conforme RRAE

Anfiteatro	Volume (m <sup>3</sup> )	T regulamentar (s)
<b>A</b>	400,1	0,76
<b>B</b>	534,4	0,78
<b>C</b>	419,9	0,77
<b>D</b>	329,5	0,75

O tempo de reverberação médio resultante das medições acústicas em cada auditório, nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. T60 medido em cada auditório

Frequência (Hz)	Média T60 medido em cada anfiteatro (s)			
	A	B	C	D
<b>500</b>	1,18	1,95	2,41	2,19
<b>1000</b>	1,27	2,1	2,6	2,29
<b>2000</b>	1,13	2,01	2,56	2,41

Os resultados mostrados anteriormente nas Tabelas 1 e 2 evidenciam que o tempo de reverberação de todos os auditórios estudados está bastante acima dos valores regulamentares previstos no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, em todas as frequências consideradas. Observa-se também que os Auditórios C e D, por terem menor área de absorção sonora que os Auditórios A e B, tem tempos de reverberação maiores. A Tabela 3 apresenta para cada auditório os índices % Alcons e RASTI calculados na frequência de 500 Hz.

Tabela 3. RASTI e % Alcons em 500 Hz calculados para cada auditório

Auditório	Volume (m <sup>3</sup> )	T60 Medido (s)	% Alcons <sub>500 Hz</sub>	RASTI <sub>500 Hz</sub>	Classificação RASTI
<b>A</b>	400,1	1,18	8	0,564	Bom
<b>B</b>	534,4	1,95	13	0,474	Bom
<b>C</b>	419,9	2,41	16	0,436	Razoável
<b>D</b>	329,5	2,19	15	0,448	Razoável

A partir dos valores do índice RASTI apresentados anteriormente na Tabela 3, verifica-se que os Auditórios A e B tem uma inteligibilidade maior da palavra e portanto, melhor qualidade e condição de uso que os Auditórios C e D. As Figuras 6 e 7 apresentam resultados dos inquéritos realizados com um grupo de quarenta alunos que utilizam auditórios.

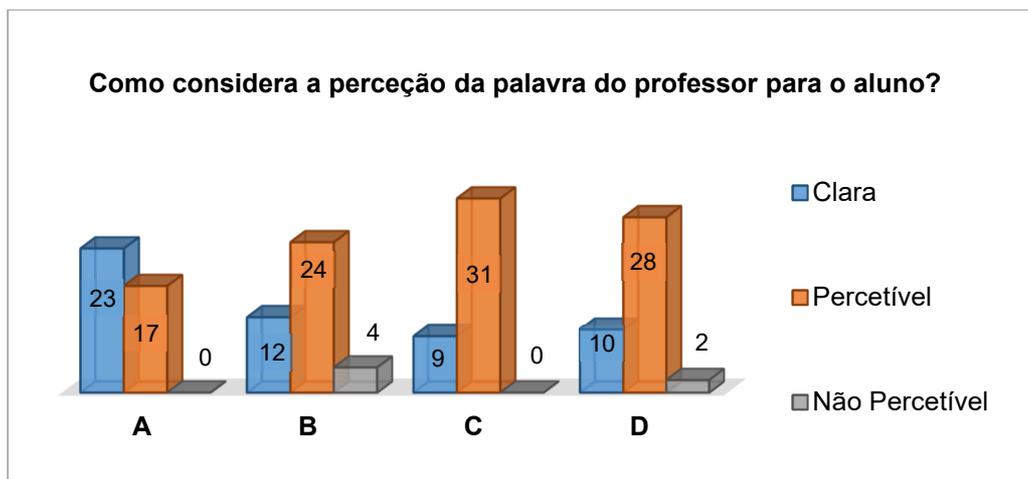


Figura 6. Inquérito realizado com alunos.

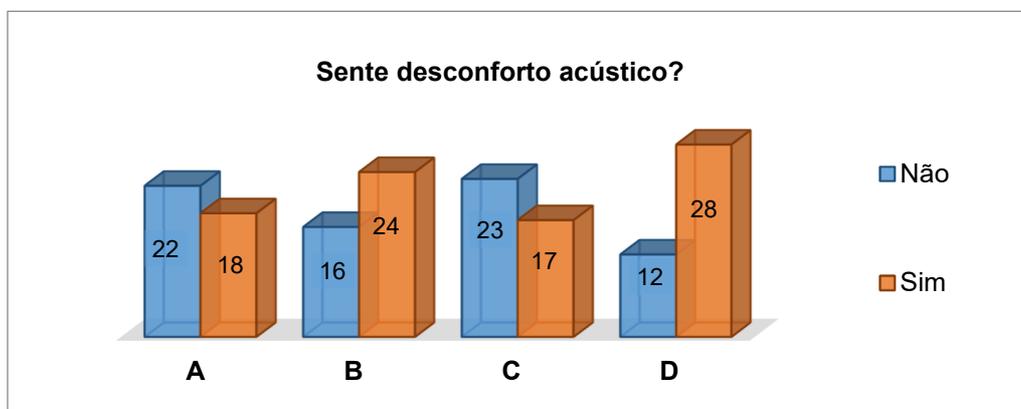


Figura 7. Inquérito realizado com alunos.

Os resultados mostrados na Figura 6 permitem concluir que as palavras são percebidas pelos alunos com maior clareza nos Auditórios A e B do que nos Auditórios C e D. A Figura 7 permite inferir que o Auditório D é o que apresenta maior insatisfação por parte dos alunos com relação ao critério de conforto acústico. A resposta do inquérito com os docentes, com relação a este mesmo critério, foi a de que os Auditórios C e D são os mais desconfortáveis. O inquérito realizado com o grupo dos docentes mostrou também que todos os professores consideram os Auditórios A, B, C e D como sendo ruidosos e que sentem dores de garganta depois de uma aula.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir do desenvolvimento deste trabalho foi possível concluir que:

- ao comparar os tempos de reverberação regulamentares com os tempos de reverberação medidos em cada auditório, verifica-se que nenhum dos referidos recintos cumpre o estabelecido no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios nas bandas de oitava centradas nas frequências de 500 Hz, 1.000 Hz e 2.000 Hz.
- os Auditórios C e D tem tempos de reverberação T60 maiores que os Auditórios A e B confirmando os resultados dos inquéritos realizados com os utilizadores dos referidos ambientes com relação ao desconforto acústico.

- considerando o índice RASTI para avaliação da inteligibilidade dos ambientes estudados, constata-se que os Auditórios A e B tem maior inteligibilidade da palavra que os Auditórios C e D.
- os auditórios estudados não apresentam condições ideais às suas funções, sendo necessário definir um projeto de reabilitação acústica a fim de que resulte em melhor qualidade acústica e maior inteligibilidade da palavra aos mesmos.

## **REFERÊNCIAS**

- [1] BISTAFA, Sylvio R., Acústica aplicada ao controle do ruído. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- [2] Decreto-Lei nº 96/2008 de 9 de Junho, Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2008.
- [3] Valle, Solon do., Manual Prático de Acústica. Rio de Janeiro: Editora Música & Tecnologia Ltda, 2009.
- [4] DEC/LFTC/P03 – Procedimento de ensaio - Avaliação dos tempos de reverberação, Laboratório de Física e Tecnologia das Construções, Universidade do Minho, 2010.