

# ACÚSTICA DE SALAS DE AULA

**D. Alarcão, C. Fafaiol, J. L. Bento Coelho**

CAPS, DEEC – Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, P-1049-001 Lisboa, Portugal  
diogo.alarcao@ist.utl.pt

## Resumo

As condições acústicas em espaços escolares são fundamentais para o sucesso do processo de aprendizagem. No âmbito do Programa de Modernização das Escolas do Ensino Secundário foi efectuado um levantamento experimental das condições acústicas das escolas nacionais, e realizou-se um estudo sobre as condições acústicas óptimas em espaços de aprendizagem pura e aprendizagem auxiliar. Neste âmbito, foi elaborado um Guião de Boas Práticas, o qual estabelece as principais recomendações a ter em conta nos projectos de acústica. Serão discutidos os aspectos considerados mais relevantes com o intuito de se obter uma boa qualidade acústica nos diferentes espaços constituintes de uma escola do ensino secundário.

**Palavras-chave:** acústica de salas, inteligibilidade, relação sinal – ruído, tempos reverberação

## Abstract

Good acoustic conditions in school rooms are fundamental for a successful learning process. The Portuguese Government set up a modernization program for the secondary schools. Under this program, an experimental survey on the acoustic characteristics of existing schools was conducted and a study on the optimum acoustic conditions in core learning spaces and auxiliary learning spaces was done. This study resulted in a Good Practice Guide that establishes important recommendations to be taken into account in the acoustic projects of schools. The most relevant issues for obtaining good acoustic conditions in the different spaces of secondary schools are discussed.

**Keywords:** classroom acoustics, intelligibility, signal-noise ratio, reverberation times

## 1. Introdução

O Programa de Modernização de Escolas com Ensino Secundário encetado pelo Ministério da Educação compreende uma intervenção de fundo num número elevado de escolas do ensino básico e secundário, desde as mais antigas, construídas até finais dos anos 30, até às construídas nos anos 70 e 80, com a tipologia de “pavilhões”. Tem esta intervenção o objectivo de recuperar escolas e, de, na generalidade, as modernizar, dotando-as de características consentâneas com os graus de qualidade exigidos na sociedade actual.

Muitas das actuais escolas com ensino secundário revelam condições de degradação considerável. Outras apresentam condições de funcionamento desadequadas ou totalmente comprometedoras dos objectivos de aprendizagem por parte de uma população escolar particularmente sensível, devido à sua faixa etária.

A rentabilidade do ensino, traduzida pelo grau de sucesso escolar, fica posta em causa pelas deficientes condições ambientais da escola e pelas, frequentemente, muito más condições acústicas, de

transmissão e de percepção da mensagem oral. Ora, se a escola não oferece ao aluno condições de fácil e imediata percepção da mensagem falada e lhe exige um esforço suplementar e permanente de atenção e de concentração, o que nem sempre é viável ou aceite em idades típicas dos alunos do ensino básico ou secundário, fica determinada, necessariamente, uma disfunção da aprendizagem. As condições acústicas jogam, aqui, um papel importantíssimo, na medida em que o comprometimento quer da inteligibilidade da comunicação oral quer da atenção ou concentração nas aulas, por dispersão ou efeitos de mascaramento, põem em causa a função última do ensino.

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (aprovado pelo Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho) reconhece a importância da qualidade das condições acústicas nos estabelecimentos escolares e determina valores de referência para um conjunto de parâmetros e indicadores da qualidade acústica das salas de aula. Estes requisitos são entendidos como valores guia correspondentes a limiares de qualidade mínima necessária. No entanto, muitos edifícios escolares não cumprem tais requisitos. Em alguns, sobretudo nos mais antigos, os desvios entre as condições reais e as regulamentares são muito grandes.

A intervenção na qualidade acústica das escolas, incluída no Programa de Modernização de Escolas com Ensino Secundário, compreende uma componente ambiental, mas também, e muito especialmente, uma componente funcional.

É fundamental que a mensagem oral transmitida pelo professor seja, por um lado, completa e adequadamente percebida pelo aluno, em condições de boa (ou muito boa) inteligibilidade oral e, por outro, que o seja sem esforço suplementar de atenção, devido ao excesso de ruído de fundo, que possa gerar cansaço, distração e perda de concentração do aluno.

Estas condições acústicas são absolutamente fundamentais nas salas de aulas. Mas são igualmente importantes nas bibliotecas, nos auditórios, nos laboratórios, em salas de estudo e em salas polivalentes. São-no, igualmente, embora em grau distinto, nos ginásios, nas cantinas, nos corredores, nos espaços de convívio. A configuração das condições acústicas num espaço de aprendizagem (e toda a escola deve ser vista como um espaço global de aprendizagem) depende dos seus utilizadores, dos objectivos da aprendizagem e das funções específicas de cada espaço.

Não se pretendeu, com as recomendações constantes do presente trabalho substituir a função conceptual ou criativa dos especialistas, mas tão só chamar a atenção, de forma estruturada, para aspectos fundamentais da acústica de espaços escolares.

## **2. Levantamento experimental das condições acústicas nas escolas secundárias**

No âmbito do Programa de Modernização de Escolas com Ensino Secundário, foram realizados vários ensaios experimentais num conjunto de escolas com ensino secundário a fim de se obter uma caracterização objectiva das condições acústicas existentes.

O actual parque de escolas destinadas ao ensino secundário em Portugal (com ou sem 3.º ciclo do ensino básico) engloba um conjunto de edificado heterogéneo que apresenta diferentes tipologias tanto do ponto de vista da arquitectura como das suas funcionalidades. O referido parque escolar consiste em 477 escolas, construídas a partir do final do século XIX, sendo que 77,4 % são de edificação posterior ao início dos anos 70, a que corresponde o período de expansão da rede escolar e da escolaridade obrigatória.

No entanto, apesar da referida heterogeneidade, é possível agrupar as escolas existentes em três grandes tipologias, as quais apresentam características marcadas tanto ao nível arquitectónico como ao nível da orientação funcional dos espaços, sendo esta diferenciação facilmente conseguida a partir do período de construção.

Deste modo, estabelecem-se as seguintes três tipologias:

1. Estabelecimentos de ensino considerados como históricos
2. Estabelecimentos de ensino edificados durante o Estado Novo

## 3. Estabelecimentos de ensino edificados a partir de 1970

No seguimento, descrevem-se, de forma resumida, as principais condições acústicas que apresentam.

- **Escolas da tipologia 1 – Históricas**

Estas escolas consistem em edifícios de construção tradicional, com uma grande diversidade formal e valor patrimonial e simbólico adquirido.

O período de edificação estende-se desde o final do século XIX até à década de trinta (1935), encontrando-se muitas escolas a atingir um século de funcionamento.

Estas escolas históricas apresentam, regra geral, uma certa degradação física aparente e uma obsolescência funcional generalizada face aos requisitos do ensino actual, resultantes do desgaste material a que os edifícios têm sido sujeitos, da alteração das condições de uso iniciais decorrentes, por exemplo, da evolução dos currículos, bem como, em alguns casos, da sua sobre-ocupação.

Em termos das implantações espaciais, salientam-se a do modelo de edifício único de configuração compacta com pátio encerrado ou aberto ocupando o perímetro de um quarteirão urbano.

As condições acústicas existentes são regra geral deficientes face à função de aprendizagem, devido às grandes volumetrias em jogo aliadas ao uso de materiais normalmente bastante rígidos. Os isolamentos providenciados por portas e janelas são também normalmente deficitários, principalmente pelo estado de degradação aparente dos materiais usados.

Nas escolas desta tipologia os isolamentos típicos entre salas de aula são da ordem dos 45 dB ( $D_{nT,w}$ ), enquanto que os isolamentos de fachadas são da ordem dos 30 dB ( $D_{2m,nT,w}$ ), valores estes que podem ser considerados, em geral, como satisfatórios.

Relativamente aos tempos de reverberação, a Tabela 1 mostra alguns valores registados em vários espaços escolares. Como se pode constatar, os valores medidos não satisfazem, normalmente, os valores máximos considerados como óptimos para os diferentes espaços.

Tabela 1 – Tempos de reverberação registados em escolas da tipologia “históricas”

LOCAIS	Tempo de reverberação ( $T_r$ ) [s]							
	Frequência [Hz]							
	125	250	500	1k	2k	4K	8K	500/1k/2k
Sala de aula típica	2,6	3,1	2,6	2,5	2,1	1,8	1,3	2,4
Sala desenho	1,1	2,2	2,4	2,4	2,2	2,0	1,5	2,3
Sala de aula maior	2,5	2,5	2,4	2,1	1,7	1,5	1,1	2,1
Sala de aula maior	1,4	1,6	1,9	1,9	1,9	1,7	1,3	1,9
Auditório	1,4	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3	1,0	1,5
Ginásio Pequeno	1,1	1,6	2,3	2,6	2,6	2,3	1,6	2,5
Ginásio Grande	2,2	3,2	3,7	4,2	4,2	3,3	2,2	4,0
Refeitório Piso Parquet	2,6	2,3	1,9	1,5	1,2	1,2	1,1	1,5
Refeitório Piso Mosaico	3,3	2,9	2,3	1,9	1,7	1,5	1,1	2,0

- **Escolas da tipologia 2 – Estado Novo**

Estas escolas consistem em edifícios construídos sob a responsabilidade do Ministério das Obras Públicas – Junta das Construções para o Ensino Técnico e Secundário (JCETS-MOP), durante as décadas de quarenta a sessenta.

Os edifícios escolares desta tipologia são marcados por uma forte uniformidade e sobriedade formal, robustez construtiva e boa qualidade dos materiais empregues. No entanto, apresentam, em regra, um quadro de anomalias construtivas e de desgaste físico associado à obsolescência funcional generalizada face aos requisitos do ensino actual que prejudicam o aspecto, conforto ambiental e as condições efectivas de uso.

Em termos das implantações espaciais registam-se o modelo de edifício único de configuração em U, H, L e E, quebrando com a estrutura em quarteirão fechado.

As condições acústicas observadas são regra geral pouco satisfatórias, mais uma vez, devido às grandes volumetrias utilizadas para os diferentes espaços em conjunto com o uso de materiais normalmente bastante rígidos, acusticamente pouco absorventes. Os isolamentos providenciados por portas e janelas são neste caso também normalmente insuficientes, principalmente pelo estado de degradação aparente dos materiais usados.

Nas escolas desta tipologia os isolamentos típicos entre salas de aula são da ordem dos 40 dB ( $D_{nT,w}$ ), enquanto que os isolamentos de fachadas são normalmente inferiores a 28 dB ( $D_{2m,nT,w}$ ). Estes valores podem ser considerados, em geral, como insuficientes.

A Tabela 2 indica alguns valores para os tempos de reverberação registados em diferentes espaços de escolas desta tipologia. Pode-se concluir, que os valores medidos para os tempos de reverberação se encontram, geralmente, bastante acima dos desejáveis.

Tabela 2 – Tempos de reverberação registados em escolas da tipologia “estado novo”

LOCAIS	Tempo de reverberação ( $T_r$ ) [s]							
	Frequência [Hz]							
	125	250	500	1k	2k	4K	8K	500/1k/2k
Sala de aula típica	1,8	2,1	1,8	1,8	1,7	1,4	1,1	1,8
Sala de aula típica	1,7	2,2	2,1	2,0	1,6	1,5	1,1	1,9
Laboratório Ciências	0,8	0,9	1,1	1,1	1,1	1,0	0,9	1,1
Biblioteca	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7
Ginásio	1,6	2,1	3,0	3,1	2,9	2,3	1,5	3,0
Refeitório	3,5	3,3	3,6	3,3	2,6	1,9	1,4	3,2

- **Escolas da tipologia 3 – Pavilhonar**

As escolas de tipologia pavilhonar constituem um universo relativamente vasto de escolas. A edificação destas escolas teve início no período que se inicia no final da década de sessenta, com a massificação do ensino.

As escolas desta tipologia são caracterizadas pela aplicação de projectos-tipo desenvolvidos sob a responsabilidade do Ministério da Educação, com recurso frequente a sistemas de pré-fabricação e baseadas em tipologias modelares constituídas por pavilhões, com uma tipologia muito similar entre si.

Os edifícios escolares do tipo pavilhonar denotam problemas ao nível da qualidade de construção geral e vários desajustes funcionais, existindo uma enorme diferença entre a robustez de construção destas escolas e das escolas das tipologias 1 e 2 atrás referidas.

Em termos de condições acústicas, estas escolas apresentam uma melhor acústica interna, devido à menor volumetria dos espaços e ao emprego de materiais menos rígidos. No entanto, a nível de isolamentos de portas e janelas, isolamentos entre espaços, e isolamentos de fachadas, o desempenho acústico é normalmente inferior ao registado nas escolas das outras duas tipologias.

Os isolamentos entre salas de aula típicas situam-se normalmente na ordem dos 40 dB ( $D_{nT,w}$ ), enquanto que os isolamentos de fachada se situam, em geral, na ordem dos 26 dB ( $D_{2m,nT,w}$ ). Estes valores são inferiores aos desejáveis. Em relação aos tempos de reverberação, a Tabela 3 indica valores medidos em diferentes espaços. Pode-se constatar que os valores medidos são, regra geral, bastante inferiores aos registados em escolas da tipologia 1 e 2, mas, no entanto, encontram-se ainda assim acima dos valores tidos como desejáveis para os diferentes espaços.

Tabela 3 – Tempos de reverberação registados em escolas da tipologia “pavilhonar”

LOCAIS	Tempo de reverberação ( $T_r$ ) [s]							
	Frequência [Hz]							
	125	250	500	1k	2k	4K	8K	500/1K/2K
Sala de alunos	1,8	1,8	1,6	1,4	1,4	1,1	0,7	1,5
Refeitório	1,9	1,4	1,1	1,1	1,0	0,9	0,6	1,1
Sala de aula	2,5	1,8	1,2	0,8	0,8	0,7	0,6	0,9
Sala de aula	1,8	1,1	0,9	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7
Sala de aula	2,3	2,1	1,4	1,3	1,2	0,9	0,8	1,3
Laboratório	1,4	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,6	1,0

### 3. Recomendações para desempenho acústico

No seu conteúdo específico, os requisitos e as especificações constantes do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) são razoavelmente próximos do que se pratica em outros países, em particular, nos restantes países do espaço europeu.

Os valores limite relativos aos diversos parâmetros acústicos característicos constantes daquelas especificações resultam da ponderação de múltiplos factores intervenientes e interligados. Tais critérios poderão ser de relativamente fácil implementação no projecto e construção de novas edificações escolares. Contudo, a sua aplicação a construções já existentes, que o levantamento apresentado revela como necessitado, pode enfermar de alguma falta de pragmatismo, ou da flexibilidade necessária para a resolução de situações individualizadas, de cariz diferenciado.

De entre o vasto universo de escolas a remodelar – num parque escolar variado, com edifícios de várias épocas e características construtivas – surgem situações em que a obrigatoriedade de intervenção no sentido da verificação da conformidade incondicional com as especificações regulamentares actuais, poderá não constituir uma “boa solução”, sob o ponto de vista do seu custo-benefício.

Nas operações de recuperação e modernização das escolas pré-existentis do parque escolar nacional, embora tendo em conta os objectivos regulamentares, as várias situações que se deparam devem ser analisadas e resolvidas de forma sensível, tendo subjacente o custo-benefício da intervenção correspondente. Tal pode passar por um processo de hierarquização das intervenções nos diferentes locais de cada escola, no sentido de garantir que os aspectos essenciais da boa acústica nos espaços

escolares mais sensíveis ficam incondicionalmente garantidos, e que aos aspectos mais secundários são associados critérios de custo-benefício que devem ser encarados no cômputo dos resultados a obter para a globalidade das escolas a modernizar.

O desempenho acústico de cada escola deverá ser otimizado para os objectivos de adequadas relações sinal-ruído (limitando os níveis de ruído e especificando os isolamentos sonoros das envolventes) e reverberação (tempos de reverberação óptimos) para a boa transmissão da informação oral.

### 3.1 Níveis de ruído ambiente no interior de espaços escolares

O objectivo fundamental de conferir uma boa acústica a uma sala de aula consiste na obtenção de uma boa relação sinal-ruído, de forma a garantir

- i) comunicação clara e eficiente entre o professor e os alunos,
- ii) comunicação clara e eficiente entre os alunos,
- iii) não interferência nas situações de estudo e actividades escolares.

A relação sinal-ruído varia de ponto para ponto na sala, da mesma forma que varia a intensidade percebida da fala do professor e varia o nível de pressão sonora do ruído de fundo na sala. Tipicamente, a relação S/N é menor,

- i - no fundo da sala de aula, onde a intensidade sonora da fala do professor decai para os seus valores mínimos, por acção da maior distância,
- ii - no fundo da sala de aula, por acção do campo acústico reverberante que se estabelece na sala,
- iii - junto a uma qualquer fonte de ruído existente na sala, como um equipamento de ar condicionado, janela pouco isolante do ruído do exterior, ou um outro qualquer equipamento ruidoso ou “aluno falador”.

O ruído de fundo no interior das salas de aula integra a contribuição

- das fontes de ruído exteriores ao recinto escolar, como o ruído de tráfego, rodoviário, ferroviário, ruído de tráfego aéreo, e ruído urbano de uma forma geral (actividades industriais, comerciais e de serviços, equipamentos domésticos, por exemplo),
- das fontes de ruído dos equipamentos do edifício, normalmente associadas às instalações mecânicas, sistemas de ventilação, por exemplo.

Para o ruído no interior das salas de aula contribuem, ainda,

- as actividades escolares que têm lugar no interior do recinto da própria escola, como o ruído dos funcionários, dos alunos ou dos equipamentos, no interior do(s) edifício(s) ou nas áreas exteriores de recreio, sendo que o ruído originado e proveniente dos espaços adjacentes pode ser transmitido por via aérea ou por via estrutural,
- os equipamentos e ferramentas usados no próprio espaço de ensino, como computadores, projectores de slides ou de vídeo, ferramentas mecânicas, extractores de fumos ou de poeiras, compressores,
- ruído da chuva (cobertura do edifício).

Todos os factores contributivos para o ruído no interior dos espaços escolares devem ser considerados. Os ruídos de características intermitentes e os ruídos com características tonais ou impulsivas tendem a ser mais perturbadores (ruídos que fomentam a distração dos alunos), pelo que devem ser mais controlados e minimizados.

Torna-se, então, necessário limitar os níveis sonoros do ruído ambiente de fundo no interior dos espaços escolares aos seus valores mínimos, em particular, nos espaços de aprendizagem pura.

A Tabela 4 indica os valores máximos admissíveis do nível de avaliação do ruído de fundo ambiente observável nas diversas salas de ensino, comumente integrantes dos espaços escolares.

Os valores indicados na Tabela 4 são expressos em termos do parâmetro  $L_{Aeq}$  relativo a um intervalo de tempo correspondente a uma aula com duração normal. Referem-se, objectivamente, ao mais elevado nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, (relativo ao período de tempo de uma aula) que pode ocorrer durante as horas normais de escolaridade.

Os valores indicados nesta tabela aplicam-se aos espaços na situação de acabados, normalmente mobilados, mas não ocupados.

Tabela 4 – Valores máximos recomendados para o nível de avaliação do ruído ambiente de fundo nos diversos espaços escolares

Tipo de Sala	Ruído das actividades (sala emissora)	Tolerância ao ruído (sala receptora)	Limite superior para o nível de avaliação do ruído de fundo, $L_{Aeq}$ [dB(A)]
Salas de aula, áreas para aprendizagem em geral	Médio	Baixa	35
Salas para seminários, laboratórios de línguas	Médio	Baixa	35
Áreas para aprendizagem em <i>Open Space</i>	Médio	Média	40
Salas de aulas de música	Muito elevado	Baixa	35
Salas para prática musical	Muito elevado	Baixa	35
Salas para prática musical em <i>ensemble</i>	Muito elevado	Muito Baixa	30
Estúdios de gravação	Muito elevado	Muito Baixa	30
<i>Régies</i> de gravação	Muito elevado	Baixa	35
Auditório	Médio	Baixa	35
Salas de estudo (individual, preparação de aulas)	Baixo	Baixa	35
Bibliotecas - áreas de estudo	Baixo	Baixa	35
Bibliotecas - áreas de recursos	Médio	Média	40
Laboratórios de ciência e informática	Médio	Média	40
Oficinas	Elevado	Alta	40
Salas polivalentes	Elevado	Média	38
Ginásios	Elevado	Alta	45
Gabinetes médicos, gabinetes para entrevistas	Baixo	Média	38
Refeitórios	Elevado	Alta	45
Salas administrativas	Médio	Média	40
Corredores, escadas	Médio - Elevado	Alta	45

Os níveis sonoros do ruído ambiente contribuído essencialmente por fontes exteriores dependem de vários factores, entre os quais as condições atmosféricas (chuvas, ventos excepcionalmente fortes) ou actividades locais não usuais. As situações correspondentes a acontecimentos acústicos excepcionais podem ser desprezadas.

A regulamentação nacional (RRAE) segue uma linha de orientação um tanto distinta, endereçando a problemática da relação sinal-ruído e do ruído ambiente de fundo máximo admissível no interior dos espaços escolares, atrás abordada, para a questão dos requisitos atribuíveis aos isolamentos acústicos dos elementos divisórios dos diversos espaços, na perspectiva de se obterem resultados equivalentes.

O RRAE apenas especifica, de forma explícita, a necessidade de limitação dos níveis máximos do ruído admissível no interior dos diversos espaços de ensino por acção do ruído proveniente de equipamentos do edifício, através do estabelecido na alínea f) do n.º 1 do artigo 7.º, pela especificação dos valores limite superiores do nível de avaliação,  $L_{Ar,nT}$ .

Como recomendação de boas práticas, deverão ser adoptados os valores limite de  $L_{Ar,nT}$  indicados na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores máximos admissíveis recomendados para o nível de avaliação,  $L_{Ar,nT}$ , no interior dos principais espaços escolares, resultante de equipamentos internos.

Locais	Nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$ [dB (A)]
Biblioteca, salas de aula, salas de aula de música	$L_{Ar,nT} \leq 35$ (se o funcionamento do equipamento for intermitente) $L_{Ar,nT} \leq 30$ (se o funcionamento do equipamento for contínuo)
Salas polivalentes, salas de professores, gabinetes médicos, salas administrativas, refeitórios, ginásios, oficinas	$L_{Ar,nT} \leq 40$ (se o funcionamento do equipamento for intermitente) $L_{Ar,nT} \leq 35$ (se o funcionamento do equipamento for contínuo)

### 3.2 Isolamento sonoro a sons de condução aérea

#### *Isolamento sonoro entre espaços interiores*

O objectivo do isolamento sonoro consiste na redução do ruído transmitido por excitação aérea através dos elementos divisórios verticais (paredes, portas, janelas) e dos elementos divisórios horizontais.

Os requisitos mínimos para o isolamento sonoro a sons de condução aérea entre espaços interiores de instalações escolares devem ser estabelecidos através do isolamento padronizado,  $D_{nT,w}$ .

Os valores mínimos recomendados para o isolamento sonoro entre os diversos espaços interiores dos edifícios escolares encontram-se especificados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores mínimos recomendados para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado,  $D_{nT,w}$  [dB], entre os principais espaços interiores escolares.

Locais de recepção \ Locais de emissão	Locais de recepção		
	Bibliotecas	Salas de aula*, salas de estudo (individual, preparação de aulas), gabinetes médicos	Salas polivalentes, salas de professores, administrativas
Salas de aula	$\geq 48$	$\geq 45$	$\geq 45$
Salas polivalentes, salas de professores, administrativas	$\geq 55$	$\geq 50$	$\geq 50$
Salas de aula de música, refeitórios, ginásios e oficinas	$\geq 58$	$\geq 55$	$\geq 50$
Corredores de grande circulação**	$\geq 35$	$\geq 30$	$\geq 30$

(\*) Incluindo salas de aula de música.

(\*\*) Considerando que haverá porta de comunicação com os locais receptores; se tal não for o caso, os valores indicados serão acrescidos de 15 dB.



*Isolamento sonoro entre espaços de circulação e outros espaços interiores*

O isolamento sonoro entre os espaços de circulação (corredores, átrios) e outros espaços internos de ensino (salas de aula, etc.) apresenta normalmente a dificuldade de a parede divisória integrar a porta de entrada/comunicação corredor-sala e, ainda normalmente, uma “bandeira” envidraçada, correntemente utilizada para facilitar a entrada de luz natural nas salas de aula.

A questão do isolamento sonoro entre os espaços de circulação e as salas de aula é, ainda, por vezes, um tanto controversa quando, em certas circunstâncias, as portas das salas de aula são deixadas abertas durante o decorrer das próprias aulas.

Estas práticas, seguidas por alguns professores em alguns estabelecimentos de ensino, podem comprometer os objectivos e o investimento financeiro necessário para dotar as salas de aula dos estabelecimentos escolares com isolamentos sonoros adequados.

Neste trabalho, assumiu-se que as salas de aula funcionam na situação normal, ou seja, com as portas fechadas durante o decorrer das aulas que nelas têm lugar.

Situações há em que as salas de aula necessitam de ter as janelas abertas, para ventilação natural durante o decorrer das aulas. Nesses casos, há necessidade de implementar uma solução acústica específica para o problema.

As situações que envolvem a acústica das salas de aula vs. corredores de circulação, ou átrios, devem ser analisadas, sob o ponto de vista das necessidades de isolamento sonoro entre esses espaços, em função das características e das funções desses espaços.

Os corredores podem ser de tipo abertos, de circulação, permitindo e implicando a passagem, mais ou menos intensa, de alunos e funcionários, dando acesso a outros espaços da área escolar, ou podem ser de tipo fechado, de simples acesso local a salas servidas por esses corredores. Há ainda a considerar os casos em que os procedimentos escolares estabelecem que durante os períodos em que decorrem as aulas não é permitida a circulação de alunos por certos corredores ou átrios. Nesses casos, há que definir, previamente, de forma clara e objectiva que esse procedimento é para ser incondicionalmente respeitado nesse estabelecimento de ensino para que possa constituir uma premissa de projecto.

No caso da caracterização das especificações dos isolamentos sonoros que devem ser verificados pelos elementos construtivos divisórios entre as salas de aula e os corredores ou átrios de circulação, poderá ser conveniente caracterizá-los através do seu índice de redução sonora,  $R_w$ , medido em laboratório.

Na Tabela 7 apresentam-se os valores mínimos do índice de redução sonora requeridos para o sistema de portas das salas de aula e para as paredes que as integram divisórias com os corredores.

Tabela 7 – Valores mínimos recomendados para os índices de redução sonora de elementos divisórios

Locais	Índice de redução sonora $R_w$ [dB]	
	Paredes incluindo panos vidrados	Portas
Todos os espaços interiores, excepto salas de aula de música	$\geq 40$	$\geq 27$
Salas de aula de música	$\geq 45$	$\geq 35$

*Isolamento sonoro entre o exterior e os espaços interiores*

O isolamento sonoro proporcionado pelos elementos de fachada dos edificios escolares deverá ter em consideração as características de ruído ambiente existentes, ou previstas, na envolvente exterior da escola. Níveis sonoros de ruído ambiente mais elevados, ou a previsão da criação de novas fontes de

ruído para a envolvente escolar (novas estradas, urbanizações, actividades industriais, comerciais ou serviços) exigirão a concepção de soluções que proporcionem valores mais elevados de isolamento sonoro em relação ao exterior.

Em consonância com as determinações regulamentares vigentes, que preconizam a classificação das áreas urbanas em “zonas sensíveis” e em “zonas mistas”, e admitindo que em cada uma delas os níveis médios de ruído ambiente, diferenciados, não ultrapassam os valores limite superiores que as definem, recomenda-se que os requisitos mínimos para o isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e os diversos espaços geralmente constantes das instalações escolares sejam como especificado na Tabela 8, através do índice padronizado,  $D_{2m,nT,w}$ .

Tabela 8 – Valores mínimos recomendados para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado,  $D_{2m,nT,w}$ , entre o exterior dos edifícios (emissão) e os compartimentos interiores identificados na Tabela 6 como locais receptores (recepção).

Local de implantação da escola	Índice de isolamento sonoro da fachada $D_{2m,nT,w}$ [dB]
zona sensível	$\geq 28$
zona mista, ou zona sensível em cuja proximidade exista em exploração ou projectada uma grande infra-estrutura de tráfego	$\geq 33$

### 3.3 Isolamento sonoro a sons de transmissão estrutural

A atenuação do ruído de transmissão estrutural, principalmente através dos elementos divisórios horizontais (pavimentos e lajes de piso), por exemplo., por acção dos passos, para o interior dos espaços de maior sensibilidade ao ruído, é outro objectivo essencial.

Os valores máximos admissíveis para o isolamento sonoro a sons de percussão a observar em edifícios escolares são expressos pelo índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado,  $L'_{nT,w}$ .

Na Tabela 9, são apresentados os valores máximos recomendados para o isolamento a sons de transmissão estrutural, para os diversos espaços geralmente constantes das instalações escolares, através do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado,  $L'_{nT,w}$ .

### 3.4 Tempos de reverberação

O tempo de reverberação de um espaço fechado é determinado pela energia das ondas sonoras reflectidas nas suas superfícies interiores. As sucessivas reflexões nas diferentes superfícies de revestimento contribuem para o aumento da energia sonora no interior da sala, durante o tempo que decorre até a energia das ondas reflectidas ser significativamente atenuada. Deste modo, a energia de um som emitido (fonema, no caso da fala) não se extingue imediatamente após a sua emissão.

As propriedades de absorção sonora dos materiais de revestimento são fortemente dependentes da frequência, pelo que o tempo de reverberação resultará em valores distintos para as diferentes bandas de frequência. Considera-se, geralmente, as bandas centradas em 500 ou 1000 Hz como referência para especificação dos valores óptimos dos tempos de reverberação. Como abordagem mais interessante, pode considerar-se um valor médio nas bandas de oitava entre 500 e 2000 Hz (as mais relevantes para a fala).

Na Tabela 10, são apresentados os valores recomendados para os tempos de reverberação para os diversos espaços escolares, como valor médio nas bandas de oitava entre 500 e 2000 Hz.

Tabela 9 – Valores máximos recomendados para o índice de isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão, padronizado,  $L'_{nT,w}$ , para os principais espaços escolares

Tipo de Sala Receptora	$L'_{nT,w}$ máximo [dB]
Salas de aula, áreas para aprendizagem em geral	60
Salas para seminários, laboratórios de línguas	60
Áreas para aprendizagem em <i>Open Space</i>	60
Salas de aulas de música	55
Salas para prática musical	55
Salas para prática musical em <i>ensemble</i>	55
Estúdios de gravação	55
<i>Régies</i> de gravação	55
Auditório	60
Salas de estudo (individual, preparação de aulas)	60
Bibliotecas	55
Laboratórios de ciência e informática	65
Oficinas	65
Salas polivalentes	60
Ginásios	65
Gabinetes médicos, gabinetes para entrevistas	60
Refeitórios	65
Salas administrativas	65
Corredores, escadas	65

Tabela 10 – Valores máximos recomendados para  $Tr$ , nos principais espaços escolares.

Tipo de Sala Receptora	Valores recomendados para o Tempo de Reverberação médio, $T_r$ [s]
Salas de aula, áreas para aprendizagem em geral, salas para seminários, laboratórios de línguas:	
$V < 300 \text{ m}^3$	0,6 - 0,8
$300 \text{ m}^3 \leq V < 600 \text{ m}^3$	0,7 - 0,9
Áreas para aprendizagem em <i>Open Space</i>	0,8 - 1,0
Salas de aulas de música	< 1,0
Salas para prática musical	< 0,8
Salas para prática musical em <i>ensemble</i>	0,6 - 1,2
Estúdios de gravação	0,6 - 1,2
<i>Régies</i> de gravação	< 0,5
Auditório pequeno (< 50 pessoas)	< 0,8
Auditório grande (> 50 pessoas)	< 1,0
Salas de estudo (individual, preparação de aulas)	< 0,8
Bibliotecas	< 1,0
Laboratórios de ciência e informática	< 0,8
Oficinas	1,0 - 1,2
Salas polivalentes	0,8 - 1,2
Ginásios	< 1,5
Gabinetes médicos, gabinetes para entrevistas	< 0,8
Refeitórios	< 1,0
Salas administrativas	< 1,0
Corredores, escadas	< 1,5

## Agradecimentos

Este trabalho foi efectuado no âmbito do projecto de assessoria técnica em acústica de escolas do CAPS-IST para a ParqueEscolar E. P., no âmbito do *Programa de Modernização de Escolas com Ensino Secundário*, com suporte parcial do financiamento plurianual FCT-CAPS/IST através do programa POS\_C e fundos do FEDER.

## 4. Bibliografia

*Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*, Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio

*Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools* – American national standard ANSI S12.60-2002

*Classroom acoustics – A resource for creating learning environments with desirable listening conditions* – Technical Committee on Architectural Acoustics – Acoustical Society of America – 2000

*Classroom acoustics – Acoustical barriers to learning* – Technical Committee on Speech Communication – Acoustical Society of America – 2002

*Classroom acoustics guidelines* – Maryland State Department of Education – 2006

*Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen* – Deutsche Industrie Norm DIN 18041:2004-05

*Richtlinie für die Akustik von Schulzimmern und andere Räumen für Sprache* – Schweizerische Gesellschaft für Akustik, 2004

*Acoustics and learning – Open Systems – Quiet Learning* – Research at 3D/I, Houston, EUA

*Designing quality learning spaces – Acoustics* – Branz Ltd. – New Zealand Ministry of Education, 2007

*High Performance schools guidelines* – NY-CHPS – New York State Education Department Manual of Planning Standards, 2007

*Acoustic design of schools – a design guide – Building Bulletin 93 – School Buildings and Design Unit – Department for Education and Skills, 2003*

M. Singer – *Acoustics in schools* – ED 477368 – Educational Resources Information Center – U.S. Department of Education, 2003

M. Hodgson, *Experimental investigation of the acoustical characteristics of university classrooms*, Journal of the Acoustical Society of America, 106 (4), 1810–1818, 1999

M. Hodgson, *New methods for measuring and predicting the acoustical quality of classrooms*, ICSV12 Keynote presentation, Proceedings Twelfth International Congress on Sound and Vibration, Lisboa, Portugal, 2005.

David Lubman, Louis C. Sutherland, *Good classroom acoustics is a good investment*, Proceedings 17 International Congress on Acoustics, Roma, Itália, 2001

S. Vieira, D. Alarcão, J. L. Bento Coelho, M. Zindeluk, S. Gerges, *Assessment of classroom acoustics – a quantitative survey*, Proceedings Twelfth International Congress on Sound and Vibration, Lisboa, Portugal, 2005

S. Vieira, *Caracterização acústica experimental de salas de aula*, Dissertação de Mestrado, DEEC, Instituto Superior Técnico, 2008.