



Instituto Politécnico  
de Castelo Branco  
Escola Superior  
de Artes Aplicadas



Faculdade de Belas-Artes  
UNIVERSIDADE DE LISBOA

## Why not Design for the Ears? Conceção de uma linha de mobiliário com características acústicas



Mestrado em Design de Interiores

Marta Sofia Gomes Ruas

**Orientador**  
Professor Doutor Fernando Miguel Marques

Outubro de 2013



Instituto Politécnico  
de Castelo Branco  
Escola Superior  
de Artes Aplicadas



Faculdade de Belas-Artes  
UNIVERSIDADE DE LISBOA

## **Why not Design for the Ears?**

### **Conceção de uma linha de mobiliário com características acústicas**

Marta Sofia Gomes Ruas

#### **Orientador**

Fernando Miguel Marques

Trabalho de Projeto apresentado à Escola Superior de Artes Aplicadas do Instituto Politécnico de Castelo Branco e à Faculdade de Belas-Artes da Universidade de Lisboa para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Design de Interiores, realizada sob a orientação científica de professor Doutor Fernando Miguel Marques, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

**Outubro de 2013**



## Composição do júri

Presidente do júri

Especialista, Joaquim Bonifácio

Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Castelo Branco

Vogais

Doutor, Fernando Miguel Marques

Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Castelo Branco

Doutor, Pedro Oliveira

Professor Coordenador, Instituto Superior de Educação e Ciências de Lisboa



## Dedicatória

*Aos que nunca deixaram de acreditar.  
Aos que nunca desistem perante a adversidade.*



## Agradecimentos

Neste percurso marcado por tantos sentimentos, resta-me agradecer, do fundo do coração, a algumas pessoas ou entidades que contribuíram para que este projeto chegasse ao fim com sucesso. Foi graças a eles que se definiu o caminho deste trabalho e que, nos momentos mais complexos, me ajudaram a vê-lo de forma mais clara.

Um muito obrigado a todas as entidades que, de forma direta ou indireta, colaboraram neste projeto, facultando informação ou esclarecendo algumas dúvidas que surgiram no decorrer da investigação (um especial agradecimento à Mobapec, à DGEstE Região Centro, ao IPQ e ao atelier CCG Arquitetos).

Um muito obrigado à instituição de ensino que me acolheu ao longo do meu percurso académico. A ESART foi a “minha casa” ao longo da minha formação superior e nela cresci imenso como designer e como pessoa. Em especial, agradeço ao Professor Fernando Marques pela sua orientação de designer neste projeto e ao Professor Nelson Antunes pelo apoio ao longo do meu percurso como mestranda.

Um muito obrigado aos meus amigos. Ouvintes, curiosos, compreensivos, conversadores, preocupados. Obrigada pelo ânimo que me deram ao longo destes meses que se revelaram muitas vezes complexos.

Um muito obrigado à minha família. Em especial aos meus pais, pelos valores que me transmitiram ao longo do meu crescimento (e que fazem de mim a pessoa que sou hoje), pela compreensão e confiança nas minhas decisões e pelo apoio incondicional que me dão nos momentos mais difíceis.

Um especial agradecimento ao meu amigo e colaborador deste projeto, Márcio Ferreira, por me ter ensinado a valorizar a acústica, pela motivação e, acima de tudo, por se ter mantido sempre ao meu lado durante esta investigação.



## Epígrafe

*“O fracasso é a oportunidade de começar de novo com mais inteligência e redobrada vontade.”*

(Henry Ford)

*“É uma questão de projetar, não a aparência, mas a experiência, de modo a termos espaços que soam tão bem quanto aparentam, que estão de acordo com o propósito, que melhoram a nossa qualidade de vida, a nossa saúde e bem-estar, o nosso comportamento social e a nossa produtividade. É tempo de fazer design para os ouvidos.”*

(Julian Treasure, in TEDGlobal 2012)



## Resumo

A exposição a ambientes ruidosos apresenta-se como um fator que afeta não só o bem-estar, como também outras condicionantes como a saúde, a produtividade e a comunicação. Na sala de aula, este problema não é exceção. A interação entre os diferentes intervenientes no espaço origina fontes sonoras que interferem com aquele que deveria ser o estímulo principal numa aula: o discurso do professor.

O presente trabalho de projeto procura resolver os problemas existentes no ambiente escolar de 2º e 3º ciclos associados à reverberação. Recorrendo a uma metodologia de investigação ativa, o principal objetivo é averiguar se a criação de uma nova tipologia de mobiliário poderá resolver o problema do acondicionamento acústico num espaço interior específico, uma vez que a acústica influencia em muito o desempenho das pessoas na realização de tarefas.

Ao longo da investigação foram analisados alguns casos em que é demonstrada a importância da acústica nos espaços interiores, assim como a sua interferência no ambiente em estudo. Foi também estudado o mercado atual nas áreas de desenvolvimento do projeto, de forma a enfatizar a pertinência da presente investigação. Averiguou-se, desde logo, que a criação de mobiliário com uma nova funcionalidade – a acústica – poderia ser uma boa possibilidade de inovação na área do Design de Equipamento. Na aplicação prática dos conhecimentos adquiridos, considerou-se que se deve projetar para os ouvidos e levou-se a cabo a investigação e corroboração desta questão.

Assim, pretende-se que no final do projeto seja comprovado que a melhoria das condições acústicas é possível através de mobiliário que melhore substancialmente as condições de vida dos seus utilizadores, nomeadamente dos docentes e discentes que se integram nos ciclos de estudo abordados.

## Palavras chave

Design de Interiores, Design de Equipamento, Acústica, Mobiliário.



## Abstract

The exposure to noisy environments is a factor that affects not only the wellness, but also other constraints such as health, productivity and communication. In the classroom, this issue isn't an exception. The interaction between the different actors in the space creates sound sources that interfere with the one that should be the main incentive in a classroom: the teacher's speech.

This research project looks for the resolution of existing problems in the school environment, since 5th to 9th grade, associated with reverberation. Using a methodology of active research, the main objective is investigate if the creation of a new typology of furniture could solve the problem of acoustics in a specific interior space, once the acoustic influences considerably the performance of people in fulfil tasks.

Throughout the investigation were examined some cases wherein is demonstrated the importance of the room acoustics, as well as its interference in the environment under study. It's also studied the current market in the areas of project development, so as emphasizing the relevance of this research. It was found, since then, that the creation of furniture with a new skill – the acoustics – could be a good opportunity for innovation in equipment design. In the practical application of the knowledge acquired, it was considered that it should be designed for the ears and it carries through the investigation and corroboration of this issue.

So, it's intended that in the end of the project it is confirmed that improving the acoustic conditions through furniture it's possible and it will enhance substantially the conditions of life of its users, particularly teachers and students that are integrated in the school degrees approached.

## Keywords

Interior Design, Equipment Design, Acoustic, Furniture.



## Índice geral

<b>Dedicatória</b> .....	<b>V</b>
<b>Agradecimentos</b> .....	<b>VII</b>
<b>Epígrafe</b> .....	<b>IX</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>XI</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Índice geral</b> .....	<b>XV</b>
<b>Índice de esquemas e gráficos</b> .....	<b>XVII</b>
<b>Índice de fotografias</b> .....	<b>XVIII</b>
<b>Índice de ilustrações</b> .....	<b>XX</b>
<b>Lista de tabelas</b> .....	<b>XXII</b>
<b>Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos</b> .....	<b>XXIII</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Metodologia de investigação</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Enquadramento do problema</b> .....	<b>7</b>
3.1. Propagação do som .....	7
3.2. Breve introdução ao funcionamento da comunicação humana .....	9
3.3. Fenómeno da reverberação .....	9
<b>4. Fundamentos</b> .....	<b>11</b>
4.1. Interferência da acústica e da psicoacústica no quotidiano .....	11
4.2. Relação entre o som e o espaço: importância da arquitetura acústica .....	13
<b>5. Pertinência da questão: interferência da acústica no ambiente alvo de investigação</b> .....	<b>17</b>
5.1. Análise da influência do ruído na inteligibilidade da fala do professor.....	17
5.2. Análise da influência do ruído no processamento auditivo por parte dos alunos .....	19
5.3. Conclusões relativas à pertinência da questão .....	19
<b>6. Estado da arte</b> .....	<b>21</b>
<b>7. Análise de revestimentos e mobiliário existentes para acondicionamento acústico</b> .....	<b>25</b>
7.1. Análise de empresas que desenvolvem soluções de isolamento acústico através da aplicação de painéis acústicos .....	26
7.2. Análise de empresas que desenvolvem soluções de acondicionamento acústico através de mobiliário .....	30

7.3. Análise de empresas de outras áreas e serviços que adotam uma postura de valorização da acústica .....	33
<b>8. Análise de empresas que desenvolvem soluções de equipamento escolar</b> .....	<b>37</b>
<b>9. Acústica de salas</b> .....	<b>45</b>
<b>10. Estudo de materiais</b> .....	<b>49</b>
10.1. Materiais metálicos .....	49
10.2. Materiais poliméricos .....	50
10.3. Materiais cerâmicos .....	52
10.4. Materiais compósitos.....	53
10.5. Madeira e derivados.....	56
10.6. Cortiça e derivados.....	61
<b>11. Levantamento e análise das necessidades do espaço</b> .....	<b>65</b>
11.1. Análise da legislação existente relativa ao dimensionamento de salas de aula .....	67
11.2. Análise da regulamentação existente para equipamentos escolares .....	70
<b>12. Da teoria à prática</b> .....	<b>79</b>
12.1. Análise da sala de aula modelo: dimensões e equipamento existente .....	79
12.2. Cálculos do tempo de reverberação do espaço e análise da adaptação do equipamento .....	84
12.3. Materialização conceptual.....	86
12.4. Seleção dos equipamentos mais adequados: desenho técnico e modelação tridimensional.....	98
12.5. Estimativa orçamental .....	104
12.6. Memória descritiva.....	105
12.7. Validação .....	110
<b>13. Conclusões</b> .....	<b>113</b>
<b>14. Pistas de desenvolvimento futuro</b> .....	<b>119</b>
<b>15. Referências Bibliográficas</b> .....	<b>120</b>
<b>16. Bibliografia</b> .....	<b>125</b>
<b>17. Glossário</b> .....	<b>131</b>
<b>18. Anexos</b> .....	<b>133</b>

## Índice de esquemas e gráficos

<b>Esquema 1</b> — Esquematização da Metodologia de Investigação do projeto. ....	5
<b>Gráfico 2</b> — Relativo aos problemas com ruído que interferem no desempenho dos professores.....	18
<b>Esquema 3</b> — Comportamento do som quando em contacto com uma parede, em que se constata que parte da sua energia é perdida. ....	45
<b>Esquema 4</b> — Análise das tarefas desenvolvidas na sala de aula.....	65
<b>Esquema 5</b> — Equipamentos existentes numa sala de aula.....	66
<b>Esquema 6</b> — Dimensões de referência adequadas a cada faixa etária, de acordo com a Norma Europeia 1729.....	72
<b>Gráfico 7</b> — Tempo de reverberação da sala em várias gamas de frequência, antes da intervenção.....	86
<b>Gráfico 8</b> — Tempo de reverberação da sala (sem ocupação) em várias gamas de frequência, com a aplicação de equipamentos da linha “low cost”. ....	111
<b>Gráfico 9</b> — Tempo de reverberação da sala (sem ocupação) em várias gamas de frequência, com a aplicação de equipamentos da linha “lápiz”. ....	111
<b>Gráficos 10 e 11</b> — Tempo de reverberação da sala (com ocupação de 25 pessoas) em várias gamas de frequência, com a aplicação de equipamentos da linha “low cost” e “lápiz” .....	112

## Índice de fotografias

<b>Fotografia 1</b> — Sala de espetáculos do Royal Albert Hall, Londres. ....	14
<b>Fotografias 2.1 e 2.2</b> — Auditório da Aula Magna, Caracas.....	15
<b>Fotografia 3</b> — Sala de espetáculos da Christchurch Town Hall, Christchurch. ....	15
<b>Fotografias 4.1 e 4.2</b> — Sala de espetáculos da Berliner Philharmonie, Berlim. ..	16
<b>Fotografia 5</b> — Aplicação de painéis acústicos Topperfo® Graphic, produzidos pela RPG. ....	26
<b>Fotografias 6.1, 6.2 e 6.3</b> — Projetos de acondicionamento acústico em salas de aula, estúdios e salas de estar, desenvolvidos pela Vicoustic. ....	27
<b>Fotografias 7.1, 7.2 e 7.3</b> — Painéis acústicos desenvolvidos pela Vicoustic. ....	27
<b>Fotografias 8.1 e 8.2</b> — Soluções de acondicionamento acústico personalizadas, desenvolvidas pela Audimute.....	28
<b>Fotografias 9.1, 9.2 e 9.3</b> — Soluções de acondicionamento acústico (linhas “Ocean”, “Honeycomb” e “Airflake”), desenvolvidas pela Urban Office Interiors. ....	28
<b>Fotografia 10</b> — Solução de acondicionamento acústico através de aplicação de têxteis, pelo atelier Anne Kyyrö Quinn. ....	29
<b>Fotografias 11.1, 11.2 e 11.3</b> — Implementação e funcionamento da Ressonant Chamber.....	29
<b>Fotografias 12.1, 12.2 e 12.3</b> — Mobiliário acústico para escritórios, “Trapeze Sofa”, “Marea Acoustic Sofa” e “Cwtch Workbay Sofa”, comercializados pela Après Furniture.....	31
<b>Fotografias 13.1, 13.2 e 13.3</b> — Mobiliário acústico, “Niche”, “PhoneBox” e “EarChair”, desenvolvidos pela PROOFF.....	31
<b>Fotografias 15.1, 15.2 e 15.3</b> — Mobiliário para tratamento acústico de escritórios, comercializados AGORaphil.....	32
<b>Fotografias 14.1 a 14.4</b> — Mobiliário acústico para escritórios, “desenvolvidos pela ReSpace Acoustics. ....	32
<b>Fotografias 16.1, 16.2 e 16.3</b> — Fort Partition, divisória desenvolvida por Arihiro Miyake.....	33
<b>Fotografia 17.1</b> — Interior da pizzaria Pizza Express de Richmond.....	33
<b>Fotografias 17.2 e 17.3</b> — Zona de refeições da pizzaria Pizza Express de Richmond e funcionamento de uma das cúpulas que melhoram a acústica do espaço. ....	34
<b>Fotografias 18.1 e 18.2</b> — Interior da pizzaria Pizza Express de Plymouth. ....	34
<b>Fotografias 19.1 e 19.2</b> — Interior do restaurante The Cave em Sidney.....	35
<b>Fotografias 20.1 a 20.4</b> — Mobiliário escolar, “Linha I”, “Linha S”, “Linha R” e “Linha E”, produzidos pela Equipex. ....	38
<b>Fotografias 21.1 a 21.4</b> — Mobiliário escolar com estrutura metálica e estrutura em madeira, produzidos pela Mobapec.....	38
<b>Fotografias 22.1 a 22.4</b> — Cadeiras de diferentes materiais e formas, linhas “Q3”, “Mais” e “Uni”, comercializadas pela Nautilus.....	39

<b>Fotografias 23.1, 23.2 e 23.3</b> — Mesas, linhas “Q3” e “Mesa de informática Q3” comercializadas pela Nautilus. ....	40
<b>Fotografias 24.1, 24.2 e 24.3</b> — Cadeiras de diferentes materiais e formas, comercializadas pela Nortescolar. ....	40
<b>Fotografias 25.1 e 25.2</b> — Mesa dupla e mesa dupla com pernas rebatíveis, comercializadas pela Nortescolar. ....	41
<b>Fotografias 26.1 a 26.4</b> — Cadeiras e mesas comercializadas em Itália, desenvolvidas pela Mobiliascuola. ....	42
<b>Fotografias 27.1 a 27.5</b> — Cadeiras de diferentes materiais e formas comercializadas no Reino Unido, produzidas pela dfe UK Limited e pela Morleys. ....	42
<b>Fotografias 28.1 a 28.4</b> — Mesas comercializadas no Reino Unido, produzidas pela dfe UK Limited e pela Morleys. ....	42
<b>Fotografias 29.1 a 29.5</b> — Cadeiras de diferentes materiais e formas comercializadas nos Estados Unidos da América, produzidas pela Lakeshore e pela Hertz Furniture. ....	43
<b>Fotografia 30</b> — Mesa com estrutura em polipropileno e metal, produzida pela empresa americana Lakeshore. ....	43
<b>Fotografias 31.1 a 31.4</b> — Sala modelo. ....	83

## Índice de ilustrações

<b>Ilustração 1</b> — Comportamento do som numa sala: existência de som direto, primeiras reflexões e som reverberante.....	46
<b>Ilustração 2</b> — Variação do crescimento das fibras da madeira.....	57
<b>Ilustração 3</b> — Dimensões de referência para espaço para as pernas sob a mesa, de acordo com a Norma Europeia 1729, em que 1 corresponde à frente da mesa do lado do aluno.....	74
<b>Ilustração 4</b> — Planta da sala modelo vazia.....	80
<b>Ilustração 5</b> — Planta da sala modelo com equipamento.....	83
<b>Ilustração 6</b> — Painel de inspiração para o desenvolvimento dos painéis de absorção sonora.....	88
<b>Ilustrações 7.1 e 7.2</b> — Desenhos de estudo dos componentes para os painéis de absorção acústica.....	89
<b>Ilustrações 8.1 e 8.2</b> — Desenhos de estudo dos elementos a considerar na construção das mesas e cadeiras.....	89
<b>Ilustrações 9.1 e 9.2</b> — Desenhos de estudo dos elementos a considerar na construção das mesas e cadeiras.....	90
<b>Ilustração 10</b> — Desenhos de estudo com dimensões para os painéis das cadeiras.....	90
<b>Ilustrações 11.1 e 11.2</b> — Desenhos rigorosos das propostas de painéis para mesas e cadeiras.....	91
<b>Ilustrações 12.1, 12.2 e 12.3</b> — Propostas da aplicabilidade dos painéis difusores nos equipamentos, linha “lápiz”.....	91
<b>Ilustrações 13.1, 13.2 e 13.3</b> — Propostas da aplicabilidade dos painéis difusores nos equipamentos, linha “low cost”.....	92
<b>Ilustrações 14.1 e 14.2</b> — Propostas da aplicabilidade dos painéis difusores em equipamentos pré-existentes.....	92
<b>Ilustrações 15.1 e 15.2</b> — Esboços de novos equipamentos – mesas e cadeiras.....	93
<b>Ilustrações 16.1 e 16.2</b> — Desenhos rigorosos das diversas propostas para novos equipamentos – mesas e cadeiras.....	93
<b>Ilustrações 17.1 e 17.2</b> — Esboços de novos equipamentos - armários.....	94
<b>Ilustrações 18.1 e 18.2</b> — Esboços de novos equipamentos - luminárias.....	95
<b>Ilustrações 19.1 e 19.2</b> — Esboços de novos equipamentos - luminárias.....	96
<b>Ilustrações 20.1 e 20.2</b> — Esquematização gráfica da primeira seleção dos materiais a aplicar nos equipamentos, linha “lápiz”.....	96
<b>Ilustrações 21.1 e 21.2</b> — Esquematização gráfica da primeira seleção dos materiais a aplicar nos equipamentos, linha “low cost”.....	97
<b>Ilustrações 22.1 a 22.4</b> — Modelação tridimensional dos painéis a aplicar nos equipamentos, linha “lápiz” e “low cost”.....	97
<b>Ilustrações 23.1 e 23.2</b> — Esboços dos equipamentos escolhidos – mesas e cadeiras.....	98

<b>Ilustrações 24.1 e 24.2</b> — Vista frontal e vista lateral direita da mesa, com representação da localização dos painéis acústicos.....	99
<b>Ilustrações 24.3 e 24.4</b> — Vista frontal e vista lateral direita da cadeira, com representação da localização do painel acústico.....	99
<b>Ilustrações 25.1 e 25.2</b> — Modelação tridimensional sem aplicação de materiais dos equipamentos escolhidos – mesas e cadeiras. Fonte: autor. ....	99
<b>Ilustração 26</b> — Esboços dos equipamentos escolhidos – armário.....	100
<b>Ilustrações 27.1 e 27.2</b> — Vista frontal e vista lateral direita do armário. ....	100
<b>Ilustração 28</b> — Modelação tridimensional sem aplicação de materiais dos equipamentos escolhidos – armário. ....	101
<b>Ilustrações 29.1 e 29.2</b> — Esboços dos equipamentos escolhidos – luminárias. ....	101
<b>Ilustrações 30.1 a 30.4</b> — Vista frontal e vista de cima das luminárias. ....	102
<b>Ilustrações 31.1 e 31.2</b> — Modelação tridimensional sem aplicação de materiais dos equipamentos escolhidos – luminárias.....	102
<b>Ilustrações 32.1 a 32.4</b> — Modelação tridimensional da sala modelo com implementação de novos equipamentos, linha “low cost”. ....	103
<b>Ilustrações 33.1 a 33.4</b> — Modelação tridimensional da sala modelo com implementação de novos equipamentos, linha “lápiz”. ....	104
<b>Ilustrações 34.1 e 34.2</b> — Modelação tridimensional de novos equipamentos – painéis, linhas “lápiz” e “low cost”.....	106
<b>Ilustração 35</b> — Sistema de fixação para painéis das mesas, a aplicar em equipamento existente. ....	107
<b>Ilustrações 36.1 a 36.4</b> — Modelação tridimensional de novos equipamentos – mesas e cadeiras, linhas “low cost” e “lápiz”. ....	108
<b>Ilustrações 37.1 e 37.2</b> — Modelação tridimensional de novos equipamentos – armário, linhas “low cost” e “lápiz”.....	109
<b>Ilustrações 38.1 e 38.2</b> — Modelação tridimensional de novos equipamentos – luminárias, linhas “lápiz” e “low cost”.....	109

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1</b> — Coeficientes de absorção de alguns materiais poliméricos.....	52
<b>Tabela 2</b> — Coeficientes de absorção de alguns materiais cerâmicos.....	53
<b>Tabela 3</b> — Coeficientes de absorção de alguns materiais compósitos - fibra de vidro.....	54
<b>Tabela 4</b> — Coeficientes de absorção de alguns materiais compósitos - lãs de vidro e de rocha.....	55
<b>Tabela 5</b> — Coeficientes de absorção de alguns materiais compósitos - betão.....	56
<b>Tabela 6</b> — Coeficientes de absorção de madeiras.....	60
<b>Tabela 7</b> — Coeficientes de absorção de madeiras - madeira combinada com outros materiais.....	60
<b>Tabela 8</b> — Coeficientes de absorção de cortiça.....	63
<b>Tabela 9</b> — Dimensões de mesas e cadeiras de acordo com faixas etárias específicas.....	71
<b>Tabela 10</b> — Dimensões de cadeiras para tamanho 5, de acordo com a Norma Europeia 1729.....	73
<b>Tabela 11</b> — Dimensões de mesas para tamanho 5, de acordo com a Norma Europeia 1729.....	73
<b>Tabela 12</b> — Listagem de equipamentos: dimensões, materiais e ilustração.....	81
<b>Tabela 13</b> — Coeficientes de absorção de mobiliário e pessoas.....	84

## Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

ANSI – American National Standards Institute

CEN – Comité Europeu de Normalização

DGEstE – Direção-Geral dos Estabelecimentos Escolares

EN – European Standard

Fundação CEBI - Centro de Bem-Estar Infantil de Alverca do Ribatejo

Hz – Hertz (medida de frequência sonora)

IPQ – Instituto Português da Qualidade

MDF – Medium Density Fiberboard

OSB – Oriented Strand Board

Si – Sabine (medida de coeficiente de absorção dos materiais)



## 1. Introdução

Ouvir é uma ferramenta essencial no nosso quotidiano. Desde cedo que a audição se revela um fator de extrema importância, pois permite ao ser humano a sua integração num meio e o seu relacionamento com os que o rodeiam. No entanto, somos confrontados frequentemente com ambientes em que não existe uma adequação da acústica, interferindo diretamente na forma como ouvimos. Esta adequação (que se reflete no tempo de reverberação de uma sala) é importante, pois ajuda o ouvinte a consciencializar-se das dimensões de uma sala e qual a sua posição no interior desta. Se a sala for reverberante (isto é, tiver bastante reverberação), haverá mais facilidade em compreender em que parte da sala se encontra, do que se estiver numa sala seca (ou seja, uma sala com baixo tempo de reverberação).<sup>1</sup> Contudo, a reverberação excessiva numa sala dificulta a captação de uma mensagem que se pretende transmitir.

A resolução dos problemas associados à reverberação sucede pela primeira vez em 1895. Quando a Universidade de Harvard se deparou, aquando a abertura do Fogg Lecture Hall (sala que foi considerada uma obra-prima da arquitetura mas tão mal conseguido acusticamente que os alunos não percebiam o que diziam os seus professores), foi necessário compreender este fenómeno. Foi o mote para os primeiros estudos de Wallace Sabine, que estudou a acústica do local durante dois anos. Ao longo desse período, usou diversas técnicas, entre elas a colocação de 400 almofadas de diversos materiais nos assentos para testar o tempo de reverberação. Embora neste caso não tenha conseguido melhorar de forma considerável a acústica do auditório, apreendeu uma grande quantidade de conhecimentos determinantes para o progresso científico que se seguiu.<sup>2</sup> Torna-se assim pertinente colocar a questão: se os primeiros estudos relacionados com acústica foram elaborados em espaços relacionados com o meio escolar, como é possível que atualmente nos continuemos a deparar com situações de má percepção auditiva nestes locais?

Foi perante esta abordagem que se deu início ao estudo da acústica dos espaços interiores, enfatizando o seu efeito no meio escolar. Este pressupõe a transmissão de novos conhecimentos e o desenvolvimento de exercícios que comprovam a aquisição dos conhecimentos por parte dos alunos. Presume-se também, que possua as características adequadas à concentração de quem ensina e de quem aprende, embora esta não seja a realidade a que se assiste em grande parte dos estabelecimentos de ensino. Apesar de, segundo a perspetiva do programa Rede Escolar (que estabelece as diretrizes para construção e equipamento de

---

<sup>1</sup> HENRIQUE, Luís L. – **Acústica Musical**. 2ª Ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002, p. 786.

<sup>2</sup> Ibid, p. 33.

estabelecimentos escolares), se considerar que o meio escolar deve assentar “numa lógica de criação de melhores condições de conforto e funcionalidade que permitam satisfazer as atuais exigências que recaem sobre a escola, entendida como espaço para acolhimento educativo dos alunos”<sup>3</sup>, o conforto acústico nem sempre cumpre os requisitos, originando falhas na transmissão do conhecimento entre o docente e os discentes.

O desempenho nas mais diversas atividades, nomeadamente associadas ao trabalho, requer concentração que é mais difícil de conseguir se o ambiente não o propiciar. Tal como também afirma Odete Domingues, “a concretização eficaz de uma atividade e o seu normal desenvolvimento, num determinado espaço fechado, dependem de diversas exigências funcionais nomeadamente condições de conforto acústico. Dois aspetos essenciais deverão ser considerados: o isolamento sonoro do espaço, relativamente a ruídos provenientes do exterior, e as características do campo sonoro que nele se estabelece, resultado da conceção arquitetónica, dos materiais de revestimento das superfícies expostas e, ainda, do mobiliário, dos equipamentos ou das pessoas nele inseridos.”<sup>4</sup>

Sendo o conforto acústico tão importante no quotidiano do ser humano, o design deve adaptar-se a este problema e procurar desenvolver soluções que consigam colmatar este tipo de situações. As áreas de intervenção não deverão ser apenas aquelas em que a audição é um fator primordial, mas sim alargar-se a várias áreas em que o conforto é considerado essencial.

Numa altura em que existem cada vez mais restrições à educação, o ato de ensinar é cada vez mais difícil e cansativo para o professor, com elevados riscos de diminuição da qualidade do ensino e da obtenção de conhecimentos para os alunos. Desta forma, deve procurar-se uma solução que consiga melhorar a qualidade de vida para os dois lados, constituindo uma mais-valia ao ensino no geral.

Foram estes aspetos que nos levaram a considerar a importância e a pertinência deste projeto. Também o facto de não existirem publicações de trabalhos semelhantes a este e serem poucos os trabalhos em que é feita uma associação entre o design e o som foram uma grande motivação que impulsionou o desenvolvimento deste trabalho de projeto.

Inicialmente foram delineados alguns objetivos a que este trabalho deveria responder. O principal objetivo foi investigar se a tipologia de mobiliário que se pretende obter poderá realmente melhorar a qualidade de vida dos seus utilizadores. Pretendeu-se também cumprir outros objetivos específicos. Apontam-se o fomentar o

---

<sup>3</sup> PORTUGAL, Ministério da Educação – **Apetreçamento dos Centros Escolares – Referenciais técnicos para Mobiliário Escolar e Listagens de Referência para Material Didático e Equipamento Informático**. In Mais Centro, Programa Operacional Regional do Centro. Lisboa: Ministério da Educação, 2008, p. 1.

<sup>4</sup> DOMINGUES, Odete – **A Acústica de Edifícios – Materiais e Sistemas absorventes sonoros: Coeficientes de absorção sonora**. 5ª Edição. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010, p. 1.

alargamento do conhecimento dos designers de interiores e equipamento a outras áreas conhecimento que os designers não dominam, incentivando à multidisciplinaridade. A transmissão de um novo valor ao design, que ainda é visto como uma área “redundante” e pouco valorizado pela comunidade, comprovando a sua importância para a qualidade de vida dos seus utilizadores. Pretende-se igualmente produzir resultados que possam pertencer e enriquecer o património intelectual das instituições de ensino de acolhimento, dos alunos, docentes, designers e outros interessados na matéria.



## 2. Metodologia de investigação

*Campo de investigação:* Design + Acústica

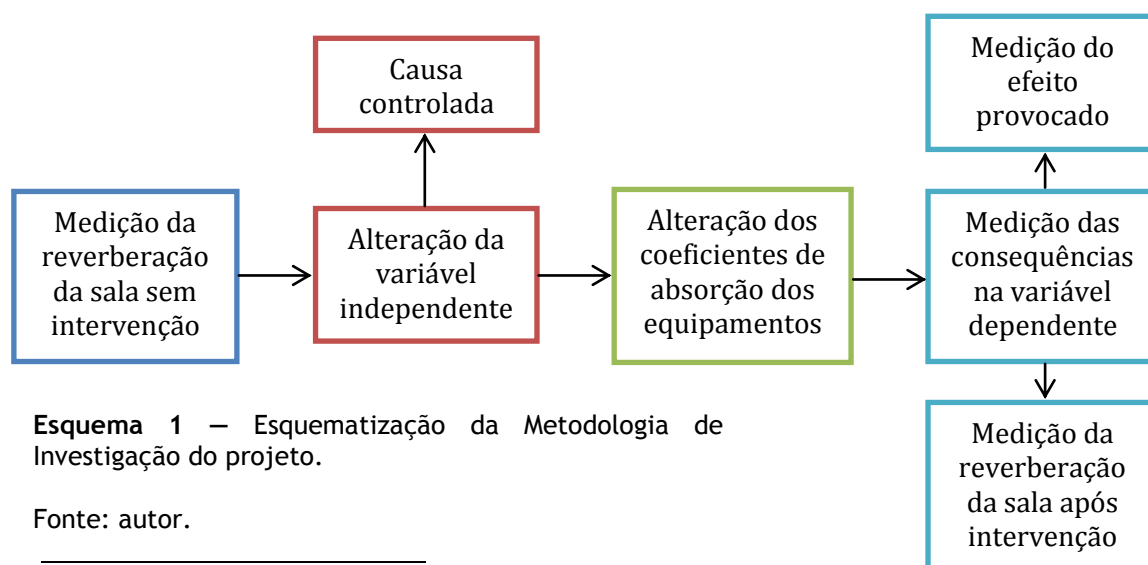
*Área de Investigação:* Design de Equipamento + Acústica de Salas

*Tema:* Conceção de linha de mobiliário com acondicionamento acústico

*Tipo de metodologia:* Investigação Ativa

Dadas as características específicas do projeto, foi necessário selecionar a melhor abordagem para desenvolver, com sucesso, o trabalho de projeto. Assim, considerou-se que a melhor abordagem seria a Investigação Ativa, que se apresenta com algumas características, de que se destacam vários aspetos: o próprio investigador é um componente do exercício de investigação; é feito um estudo de caso com controlo, em que as causas das mudanças são manipuladas e o efeito medido.<sup>5</sup> Neste caso em particular, o projeto assenta em duas variáveis, dependente (a reverberação) e independente (coeficientes de absorção dos materiais). Assim, inicia-se o processo de investigação através da medição da variável dependente numa sala sem intervenção. Em seguida, controla-se a causa através da alteração da variável independente (conseguida por meio da alteração dos coeficientes de absorção dos equipamentos). Finaliza-se o processo com a medição do efeito provocado e das consequências obtidas na variável dependente (com a medição da reverberação da sala após a intervenção). Todo o processo foi sustentado em modelos matemáticos (fórmulas de reverberação de Sabine e de Eyring-Norris).

A esquematização da Investigação Ativa deste projeto em específico apresenta-se delineada em seguida.<sup>6</sup>



**Esquema 1** — Esquematização da Metodologia de Investigação do projeto.

Fonte: autor.

<sup>5</sup> Adaptado de: SILVA, Fernando Moreira da – O processo de Investigação Académica.

<sup>6</sup> Ibid.

*Problema:* A reverberação excessiva interfere na produtividade de alunos e professores e deve ser melhorada para que os resultados na qualidade de ensino sejam superiores.

*Hipótese:* É expectável que se deve projetar para melhorar o conforto acústico em salas de aula de 2º e 3º ciclos, sendo uma vertente que deve ser investigada e corroborada. Esse projeto poderá passar pelo desenvolvimento e aplicação de mobiliário com características acústicas, para que o conforto acústico seja dado apenas pela intervenção no equipamento existente ou pela produção e aplicação de novos equipamentos para que existam melhorias a nível do tempo de reverberação na sala de aula.

De forma a facilitar a estruturação do presente trabalho de projeto, foi também estruturado um modelo de análise, composto pelas várias fases que integram a investigação e desenvolvimento de projeto.

*Fase I – Formulação da Questão*

- Formulação e delimitação do problema;
- Objetivos;
- Formulação da hipótese.

*Fase II – Investigação*

- Delimitação das temáticas a abordar na investigação;
- Análise dos conteúdos relativos aos temas associados à investigação;
- Consolidação de conhecimentos na área de investigação e determinação das variáveis dependentes e independentes;
- Medição das variáveis no caso de estudo.

*Fase III – Avaliação/Exploração*

- Esboço de ideias de soluções para o problema;
- Execução de outros suportes que sustentem a decisão (maquetas, modelos tridimensionais)
- Seleção da solução mais viável;
- Adaptação da solução aos cálculos efetuados.

*Fase IV – Validação/Verificação*

- Validação dos testes executados;
- Análise dos resultados e conclusões.

### 3. Enquadramento do problema

O presente projeto procura, como grande parte dos projetos de design, responder a uma problemática existente e, simultaneamente, ao conforto do seu utilizador. Neste projeto específico, esse conforto não se pretende que seja unicamente físico, mas acima de tudo auditivo. Desta forma, é necessário estudar o problema em vários aspetos.

Para a boa compreensão do projeto e de modo a resolver da melhor forma a questão que se coloca, o processo de investigação tem que abordar outras áreas do conhecimento para além do design. Desta forma, o processo inicia-se por uma pesquisa direcionada para a área do som e da acústica: em primeiro lugar, compreender a propagação do som; em segundo, o funcionamento da comunicação humana; e por último, o fenómeno da reverberação (reflexão múltipla de uma onda sonora).

Somente após consolidada a primeira parte do enquadramento do problema é que se poderá prosseguir para a área de investigação seguinte, de forma a ser mais fácil a compreensão e ligação das duas áreas: a da acústica, componente mais científica, rigorosa e teórica; com o design, componente mais prática e artística.

#### 3.1. Propagação do som

O som é o resultado de uma perturbação física, a onda mecânica, que provoca uma vibração, originando a sensação auditiva. Para se propagar, o som necessita de um meio material elástico (ou seja, de partículas) que sirva de suporte à sua propagação.<sup>7</sup> Nem todas as ondas provocam sensação auditiva. Tal como o olho humano não vê todo o espectro de cores, também o ouvido humano não ouve todo o espectro sonoro, ouvindo o leque de frequências que se situa entre os 20 hertz e os 20000 hertz, podendo no entanto a gama ouvida com o agravamento da idade e desgaste da audição pela exposição a sons intensos.

A propagação sonora é feita apenas nos meios em que existam partículas (sendo essa a razão que leva a que este não se difunda no vácuo). No entanto, a sua velocidade de propagação varia de acordo com o meio em que se difunde, sendo que esta é mais rápida, por exemplo, na água (1480 m/s) do que no ar (340 m/s).<sup>8</sup> Esta variação de velocidade de propagação deve-se ao facto de, na água, as partículas se

---

<sup>7</sup> PAULI, Ronald Ulysses; MAUAD, Farid Carvalho; SIMÃO, Cláudio – **Física Básica 3 – Ondas, Acústica e Óptica**. São Paulo: EPU Lda, 1980, p. 118.

<sup>8</sup> Ibid, p. 78.

encontrarem mais juntas do que no ar, originando uma difusão mais rápida. O som, quando em contacto com alguns tipos de superfícies (dependendo do material que as constituem), sofre alguns tipos diferentes de interação com estas: transmissão, absorção, reflexão e difusão.

A transmissão ocorre quando a onda, ao encontrar um obstáculo, o ultrapassa sem «perdas», semelhante à entrada de sol por uma janela de vidro comum.<sup>9</sup> Este fenómeno também ocorre quando o isolamento que divide espaços interiores é reduzido, não fazendo a sua correta absorção.

A absorção é o fenómeno que se caracteriza pela dissipação do som, quando a onda colide com um obstáculo. Esta poderá ocorrer não só devido a uma atenuação provocada pelo meio em que se propaga (como, por exemplo, devido a mudanças de temperatura), mas ocorre também quando o material de contacto se caracteriza por possuir um elevado coeficiente de absorção<sup>10</sup>, fazendo com que as ondas sejam neutralizadas e, por consequência, diminuindo a intensidade sonora.

Já a reflexão é o oposto da absorção. Ocorre quando, em contacto com um obstáculo, a onda sonora é enviada para outra direção. Consiste, no fundo, “no retorno da energia incidente em direção à região de onde é oriunda, após entrar em contato com a superfície refletora”.<sup>11</sup> É o fenómeno da reflexão que origina outros dois: o eco e a reverberação, cujas semelhanças e diferenças serão referenciadas no tópico 3.3.

A difusão acontece quando o som é disseminado em várias direções ao entrar em contacto com uma superfície. No fundo, trata-se de múltiplas reflexões de uma só onda em ângulos independentes do ângulo de incidência, que sucede quando o obstáculo é uma superfície irregular.<sup>12</sup> “Este fenómeno é utilizado para distribuir o som de modo mais eficaz, para que todo o espaço que submerge o ouvinte no som possua uma atmosfera acústica igual. Neste sentido, a difusão permite que (no caso de um auditório) o som chegue a diferentes pontos, com as mesmas características, proporcionando a todos os ouvintes, independentemente da sua localização, a mesma experiência acústica.”<sup>13</sup>

É importante referir que, nalguns casos, estes fenómenos podem ocorrer em simultâneo. Por exemplo, uma onda sonora pode ser refletida e absorvida simultaneamente quando em contato com uma parede (variando a absorção e reflexão de acordo com os materiais que a constituem).<sup>14</sup>

---

<sup>9</sup> ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA – **Classroom Acoustics**. 2000, p. 2.

<sup>10</sup> HENRIQUE, Luís L. – *Op. Cit.*, p. 229.

<sup>11</sup> **Transmissão, absorção e reflexão do som**. In Curso Técnico de Gestão do Ambiente.

<sup>12</sup> HENRIQUE, Luís L. – *Op. Cit.*, p. 770.

<sup>13</sup> PEREIRA, Joana Ramos – **Design e Música: Presença do som no Design**. 2011.

<sup>14</sup> ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA – *Op. cit.*. 2000, p. 2.

### 3.2. Breve introdução ao funcionamento da comunicação humana

Desde cedo que, no evoluir da civilização, a necessidade de comunicar esteve presente. Inicialmente através de gestos, depois através do desenho, da escrita e da fala. Diariamente recorre-se usualmente à escrita e à fala, tendo no entanto a fala um valor preponderante na comunicação (sendo que esta é a forma mais usual do ser humano comunicar).

No contexto da presente investigação, é importante compreender o funcionamento da comunicação a nível verbal. Esta é constituída por diversos componentes e, na ausência de um destes, a comunicação não está completa. Em primeiro lugar, tem que existir um emissor, que é aquele que transmite a mensagem. Forçosamente, tem que existir um recetor, que é aquele a quem se dirige a mensagem, devendo por isso estar sintonizado com o emissor para que possa fazer a sua boa receção e posteriormente descodifica-la. Por consequência, tem que existir uma mensagem, um conjunto de sinais com um significado específico (que na comunicação verbal consiste em palavras ou frases que constroem ideias transmitidas do emissor para o recetor).<sup>15</sup> No entanto, a transmissão da mensagem também se relaciona com o canal, ou neste caso com o espaço envolvente. Este interfere tanto na emissão da mensagem como na sua receção, e o que acontece muitas vezes é que este não é o mais adequado (questão que pode ter como origem as características do espaço, como área do mesmo, poucas superfícies absorventes e muitas refletoras, entre outras), fazendo com que a mensagem não seja descodificada corretamente pelo recetor e não sendo, desta forma, possível ser fornecido um feedback (isto é, uma resposta) ao emissor por parte do recetor.

### 3.3. Fenómeno da reverberação

Como já foi referido anteriormente, a reflexão de uma onda sonora origina dois tipos de fenómenos: o eco e a reverberação. Embora sejam muito semelhantes e por vezes confundidos, os dois diferem na distância da propagação do som.

A reverberação define-se por “múltiplas reflexões das ondas sonoras de uma sala” uma vez cessado o som original.<sup>16</sup> Já o eco define-se por “fenómeno que resulta da reflexão de uma onda sonora numa superfície de grande área; esta deve encontrar-se

---

<sup>15</sup> **Elementos em comunicação.** In Formação.

<sup>16</sup> HENRIQUE, Luís L. – Op. Cit., p. 772.

a uma distância tal que origine um intervalo de tempo entre o som refletido e emitido superior a 1/10 de segundo, o que implica uma diferença de percurso de 34m".<sup>17</sup>

Parafraseando, e de forma a reconhecer ambos, o eco ocorre quando é possível distinguir o som emitido de forma clara da fonte sonora inicial. Já a reverberação é quando não é possível fazer-se essa distinção, pelo curto espaço de tempo existente entre a emissão da onda sonora por parte da fonte, a reflexão do som e a receção do som refletido.<sup>18</sup> Assim, é essencial neste projeto determinar o tempo de reverberação de uma sala, que consiste na determinação do tempo que o som proveniente de uma fonte sonora demora a extinguir-se<sup>19</sup>, uma vez que este será o principal problema a resolver ao longo do processo projetual.

Para calcular o tempo de reverberação de uma sala, podem utilizar-se várias fórmulas que foram analisadas e aperfeiçoadas ao longo dos tempos. As duas que são normalmente utilizadas são a de Wallace Sabine (referenciado no estado da arte da presente investigação), que relaciona o volume de uma sala, as áreas dos materiais existentes na mesma e os respetivos coeficientes de absorção, obtendo o tempo de reverberação ( $t = 0,16 \frac{V}{A}$ ; em que t é o tempo de reverberação em segundos, V o volume da sala em m<sup>3</sup> e A a absorção total da sala em m<sup>2</sup>)<sup>20</sup>. Enquanto a fórmula de Sabine é normalmente utilizada para auditórios e salas de grandes dimensões, para salas mais pequenas recorre-se normalmente à fórmula de Eyring-Norris, que relaciona o volume da sala, as áreas dos materiais existentes na mesma e os respetivos coeficientes de absorção e a absorção do ar ( $t = \frac{0,16V}{A_{ar} - S1n(1-\bar{\alpha})}$ ; em que t é o tempo de reverberação em segundos, V o volume da sala em m<sup>3</sup>, A<sub>ar</sub> a absorção do ar e (1- $\bar{\alpha}$ ) representa a fração da energia refletida que atuará nas outras superfícies)<sup>21</sup>.

<sup>17</sup> **Enciclopédia Verbo Luso-Brasileira de Cultura, vol. 9.** Lisboa: Editorial Verbo, 1999, p. 1151.

<sup>18</sup> PAULI, Ronald Ulysses; MAUAD, Farid Carvalho; SIMÃO, Cláudio -Op. Cit., p. 83.

<sup>19</sup> HENRIQUE, Luís L. - Op. Cit., p. 772.

<sup>20</sup> Ibid, p. 773.

<sup>21</sup> Ibid, p. 774.

## 4. Fundamentos

Ouvir faz parte da vida do ser humano desde a nascença e é por isso que nem sempre lhe é atribuída a devida importância. Como elemento essencial no desenvolvimento da investigação projetual, estudar não só o funcionamento da acústica na sua componente mais científica, mas também a forma como esta afeta o comportamento do Homem e o seu desempenho das tarefas diárias foi crucial para determinar a importância de todo o projeto a desenvolver. Desta forma, este tópico centra-se na importância da audição no quotidiano e a sua interferência no comportamento do ser humano, essencialmente a nível físico e psicológico.

Também a relação existente entre a acústica e o meio envolvente (neste caso o espaço interior) são de elevada relevância para este projeto, tendo, por essa razão, ser necessariamente alvo de análise e assimilação.

### 4.1. Interferência da acústica e da psicoacústica no quotidiano

A audição é então um sentido essencial no quotidiano do Homem. Está diretamente associado ao processo de comunicação verbal e é uma importante fonte de informação sensorial. Todavia, enquanto com a visão é possível controlar a entrada de luz (através do funcionamento da íris), nos ouvidos não existe forma de impedir a entrada do som.<sup>22</sup> Quando a intensidade sonora é elevada, começam a surgir os riscos para a saúde, tanto a curto como a longo prazo.

A psicoacústica é a área da ciência que estuda a forma como os humanos percebem o som.<sup>23</sup> O seu entendimento é essencial, uma vez que é através dela que é possível tirar conclusões relativamente ao comportamento do ser humano quando exposto a diversas frequências, direções e tempos de chegada dos sons. Os estudos desta área estabeleceram não só resultados ao nível da captação sonora, mas também ao nível das qualidades físicas que um local deve ter para ser acusticamente confortável.<sup>24</sup>

Parte deste estudo incide na compreensão do funcionamento do ouvido. A função deste é captar as ondas sonoras e convertê-las em sinais que produzem sensações sonoras, decodificadas pelo cérebro.<sup>25</sup> O ouvido humano é constituído por nervos,

---

<sup>22</sup> MILLER, James D. – **Effects of Noise in People**. Washington: Central Institute for the Deaf, 1971, p. 2.

<sup>23</sup> HOWARD, David M.; ANGUS, Jamie A.S. – **Acoustics and Psychoacoustics**. 4<sup>th</sup> ed. Oxford: Elsevier Ltd, 2009, p. 74.

<sup>24</sup> **Architectural Acoustics**. In The Free Dictionary.

<sup>25</sup> IIDA, Itiro. **Ergonomia – Projeto e Produção**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2005, p. 89.

ossos e membranas e o percurso de um som até à sua descodificação no cérebro divide-se em três fases. O ouvido externo é constituído pelo pavilhão auditivo, canal auditivo e tímpano. É a primeira parte do percurso que o som faz até que as suas vibrações cheguem à membrana do tímpano. Através dessas vibrações, as ondas sonoras chegam então ao ouvido médio, constituído por três ossículos (martelo, bigorna e estribo), que enviam as vibrações para uma outra membrana, denominada janela oval. As vibrações amplificadas através da ação da janela oval chegam então ao ouvido interno (cóclea e células ciliadas), onde são convertidas em pressões hidráulicas e sinais elétricos que são transmitidos ao cérebro pelo nervo auditivo, que descodifica a mensagem enviada.<sup>26</sup>

Um dos fenómenos também associado à psicoacústica e à reverberação denomina-se “efeito máscara”, um fenómeno que ocorre quando “um componente do som reduz a sensibilidade do ouvido para um outro componente”<sup>27</sup>. Este efeito obriga ao aumento da intensidade de um som para ser ouvido de forma correta. Este varia também dependendo da natureza dos sons, sendo mais difícil distinguir dois sons semelhantes entre si do que de um som distinto do outro.<sup>28</sup> Desta forma, sons de frequências semelhantes são mascarados mais facilmente do que sons distintos, assim como um som de maior intensidade irá mascarar uma maior gama de frequências.<sup>29</sup>

A tolerância que os seres humanos têm aos sons varia de acordo com a sua intensidade. Portanto, quando maior for a intensidade sonora, menor será a capacidade de suportar o som sem atingir o limiar da audição. Os efeitos nocivos são diversos e o seu aparecimento pode ser momentâneo ou a longo prazo.

Uma das consequências a curto prazo é a mudança temporária do limiar. “A exposição a sons intensos durante algumas horas pode provocar a diminuição da sensibilidade auditiva. Trata-se de uma perda auditiva temporária que normalmente desaparece ao fim de um período de algumas horas, mas que pode ir até vários dias.”<sup>30</sup> Mais consequências que afetam o ser humano quando exposto ao ruído poderão ser sensação de mal-estar e desconforto.

Para além destas consequências de curto espaço de tempo, existem outras a longo prazo. Uma delas é a rutura do tímpano, provocada pelos sons impulsivos (que não permitem que o sistema muscular atue a tempo de se proteger).<sup>31</sup> Também o sistema nervoso central é afetado pelo som (que não tem que ser necessariamente intenso), “podendo provocar perturbações ao nível do sono, dificuldade de concentração, irritabilidade e agressividade.”<sup>32</sup> Segundo Miller (1971), as perturbações a nível do

---

<sup>26</sup> Ibid, pp. 89-90.

<sup>27</sup> Ibid, p. 92.

<sup>28</sup> Ibid, p.92.

<sup>29</sup> HENRIQUE, Luís L. – Op. Cit., p. 880.

<sup>30</sup> Ibid, p. 850.

<sup>31</sup> Ibid, p. 853.

<sup>32</sup> HENRIQUE, Luís L. – Op. Cit., p. 854.

sono ocorrem quando se está sujeito a sons que não são familiares, ao passo que sons baixos e ritmados podem ajudar a manter o sono.<sup>33</sup> Outras alterações no corpo humano derivadas do som poderão ser náuseas, dores de cabeça, instabilidade, ansiedade<sup>34</sup>, stress, alterações na circulação sanguínea e no ritmo cardíaco.<sup>35</sup> Estas alterações são consequência de uma reação geral de defesa por parte do organismo.

Derivadas destas consequências físicas, o desconforto auditivo afeta a produtividade. O rendimento no trabalho é normalmente menor em ambientes ruidosos, principalmente se requerer um elevado grau de concentração.

Como se poderá constatar nos tópicos seguintes, verifica-se que níveis sonoros elevados tornam difícil a inteligibilidade da palavra e a comunicação entre emissor e recetor.<sup>36</sup>

De forma a prevenir perdas precoces de audição, devem tomar-se algumas medidas que melhoram a qualidade de vida. O ideal seria controlar o som a partir da fonte sonora, mas como nem sempre é possível, devem ter-se cuidados especiais na proteção dos ouvidos. Alguns dos cuidados a ter podem ser aplicados no quotidiano: a audição de música com auscultadores deve ser evitada; a utilização de protetores quando a envolvência sonora é incomodativa; e evitar locais ruidosos são algumas das precauções a considerar.<sup>37</sup> Contudo, os cuidados enunciados não podem ser tidos em todos os lugares, mas a aplicação deste tipo de cuidados noutras circunstâncias permitirá uma maior longevidade do sistema auditivo.

No entanto, o Homem não está livre de perda de audição, dado que durante o envelhecimento as terminações do nervo acústico se vão deteriorando, que origina uma perda gradual de audição. No entanto, se a exposição a sons intensos for prolongada, o processo de perda auditiva deverá ser muito mais rápido.<sup>38</sup>

## **4.2. Relação entre o som e o espaço: importância da arquitetura acústica**

A arquitetura acústica consiste, sinteticamente, na aplicação da ciência da acústica à arquitetura e engenharia. Esta divide-se em três vertentes principais: a acústica de salas, que determina os materiais a aplicar para obtenção de uma boa difusão e para obtenção de uma boa inteligibilidade do discurso e da música; controlo do ruído nas edificações, através da estrutura; e utilização de equipamentos eletrónicos para

---

<sup>33</sup> MILLER, James D. – Op. Cit., p. 59.

<sup>34</sup> Ibid, p. 123.

<sup>35</sup> HENRIQUE, Luís L. – Op. Cit, p. 854.

<sup>36</sup> Ibid, p. 854.

<sup>37</sup> Ibid, p. 855.

<sup>38</sup> Ibid, p. 852.

melhoria da qualidade do som ouvido nas salas.<sup>39</sup> Desta forma, a arquitetura acústica promove o tratamento das edificações no que se refere à audição, procurando, através do estudo dos materiais e tecnologias, um bom isolamento/ acondicionamento acústico.

Esta problemática foi sendo abordada e aperfeiçoada ao longo dos tempos, tendo grande ênfase no decorrer da construção de anfiteatros na antiguidade e, posteriormente, nas salas de espetáculos onde eram apresentadas as óperas (como se pode constatar no Estado da Arte do presente projeto), embora atualmente incida sobre uma panóplia de espaços funcionais, como estúdios, restaurantes, cinemas, entre outros. Nem sempre os problemas associados à acústica (como ecos, ressonâncias ou tempos de reverberação desadequados) são detetados na fase de projeto. Algumas vezes, problemas desta natureza têm de ser resolvidos através de intervenções posteriores, normalmente resolvidos através da aplicação de painéis que ajudam na resolução do problema.<sup>40</sup>

O Royal Albert Hall, localizado em Londres, é um desses casos. Inaugurado em 1871, foi o palco de diversos espetáculos. Contudo, em 1969, foi feito um estudo acústico, em que foram medidos os ecos e os tempos de reverberação em diversos pontos da sala. Inicialmente foi proposta a construção de um novo teto, mas foi



descartada pela sua impraticabilidade e custo elevado. Assim, foi proposta a aplicação de 135 painéis refletores e difusores em fibra de vidro (como demonstra a fotografia 1), suspensos a partir de 360 pontos.<sup>41</sup>

Fotografia 1 – Sala de espetáculos do Royal Albert Hall, Londres.

Fonte: [http://westcorktimes.com/home/?attachment\\_id=14992](http://westcorktimes.com/home/?attachment_id=14992)

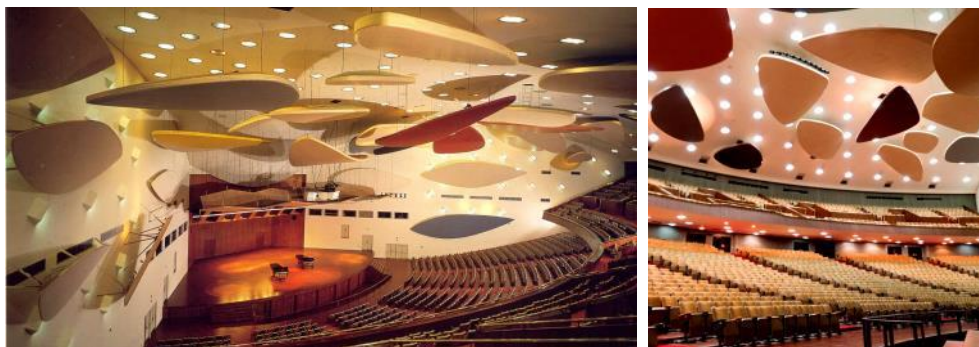
A Aula Magna, construída em 1953, pertence à Universidade Central da Venezuela, em Caracas. Para a obtenção de uma acústica ótima, foi pedido ao escultor Alexander Calder que elaborasse trinta painéis refletores (apresentados nas fotografias 2.1 e 2.2), colocados durante a performance de uma orquestra para desta forma serem colocados da forma que tornasse a acústica mais conveniente.<sup>42</sup>

<sup>39</sup> **Architectural Acoustics.** In The Free Dictionary.

<sup>40</sup> HENRIQUE, Luís L. – Op. Cit., p. 776.

<sup>41</sup> **The Building.** In Royal Albert Hall.

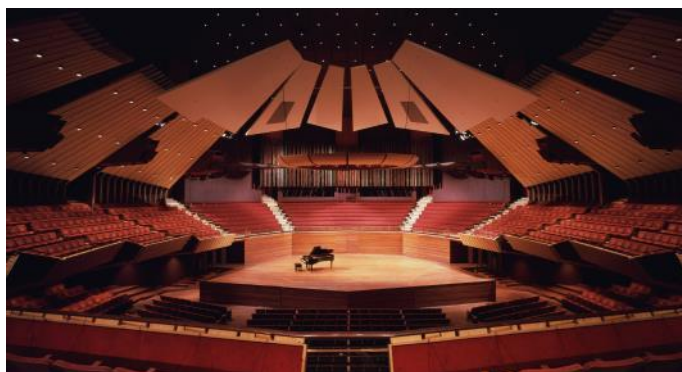
<sup>42</sup> HENRIQUE, Luís L. – Op. Cit, p. 777.



**Fotografias 2.1 e 2.2** – Auditório da Aula Magna, Caracas.

Fonte: <http://docomovenezuela.blogspot.pt/2011/02/resena-review.html>

A Christchurch Town Hall situa-se na cidade neozelandesa de Christchurch e foi fundada em 1972. Nesta, foram colocados oito painéis de madeira de grandes dimensões (fotografia 3), de



forma a criar percursos de ondas sonoras relativamente curtos e, conseqüentemente, tornar o som refletido em som difuso.<sup>43</sup>

**Fotografia 3** – Sala de espetáculos da Christchurch Town Hall, Christchurch.

Fonte: <http://marshallday.com/project/christchurch-town-hall-christchurch-new-zealand>

Similarmente ao caso anterior, a Berliner Philharmonie, em Berlim, foi construída no período entre 1960 e 1963, após a destruição do antigo edifício graças à II Guerra Mundial em 1944. No teto desta sala de espetáculos foram colocados dez painéis trapezoidais, em poliéster (fotografias 4.1 e 4.2).<sup>44</sup>

<sup>43</sup> Ibid, pp. 776-777.

<sup>44</sup> Ibid, p. 777.



**Fotografias 4.1 e 4.2** – Sala de espetáculos da Berliner Philharmonie, Berlim.

Fonte: <http://mikebm.wordpress.com/2008/10/19/architecture-for-music-berlin-philharmonie/>

Apesar da importância da acústica no desenvolvimento de projetos de arquitetura e de estar legislado que para um licenciamento de obras de construção civil requiere a apresentação de um projeto acústico, o que se pode constatar é que a acústica é uma área que não é devidamente valorizada na arquitetura. Segundo Luís Henrique (2007), “não existe nenhuma disciplina curricular de acústica nos cursos de arquitetura em Portugal, embora existam nalguns cursos de engenharia”.<sup>45</sup> Esta é uma situação que deveria ser revista, dada a importância fulcral que a audição tem no quotidiano humano, principalmente no seu bem-estar. O fornecimento de conhecimentos básicos nesta área permitiria uma maior consciencialização para o problema, facilitando igualmente o entendimento entre arquitetos e acústicos.<sup>46</sup>

Os fundamentos da arquitetura acústica que são pertinentes para o desenvolvimento do projeto são essencialmente os relacionados com acústica de salas, que será aprofundado no capítulo 8.

---

<sup>45</sup> HENRIQUE, Luís L. – Op. Cit., p. 794.

<sup>46</sup> Ibid, p. 794.

## 5. Pertinência da questão: interferência da acústica no ambiente alvo de investigação

Uma das questões que surgiu desde o início da investigação e desenvolvimento do projeto foi a pertinência da resolução do problema. Para averiguar se existem argumentos que comprovem a necessidade de intervenção, foi necessário estudar o funcionamento das salas de aula convencionais de segundo e terceiro ciclos do ensino básico.

Em primeiro lugar, é importante referir que a compreensão do discurso varia de acordo com vários aspetos, entre eles a idade dos emissores e recetores, a sua língua materna, o vocabulário utilizado, entre outros. Deve ter-se em atenção que recetores com idade menor têm um vocabulário menos desenvolvido e o discurso do emissor deve adequar-se também ao público.<sup>47</sup> Esta investigação e análise incidiram na influência do ruído nas duas perspetivas existentes no funcionamento de uma aula: a inteligibilidade da fala do professor e o processamento auditivo por parte dos alunos.

### 5.1. Análise da influência do ruído na inteligibilidade da fala do professor

Como já foi referido anteriormente, o ruído interfere em vários fatores na qualidade de vida dos seres humanos e deve, portanto, ser encontrada uma solução para este problema. No meio escolar, esta situação não é exceção. A qualidade da acústica é um fator pouco considerado nalguns projetos arquitetónicos, apesar da sua importância crucial no desempenho das atividades desenvolvidas.<sup>48</sup> A falta de uma boa acústica nas salas de aula traz, a longo prazo, consequências para os dois grupos de intervenientes. “Segundo um questionário feito a professores de escolas do Rio de Janeiro, Santos e Slama (1993) concluíram que 50% dos professores afirmam que o nível de ruído e o espaço físico sempre interferem no rendimento do aluno. Destes, 30% afirmaram que isto ocorre frequentemente e 20% esporadicamente.”<sup>49</sup>

Para compreender melhor este problema, é importante precisar uma definição de inteligibilidade da fala: esta é definida como “a relação as palavras faladas e as

---

<sup>47</sup> MILLER, James D. – Op. Cit., p. 52.

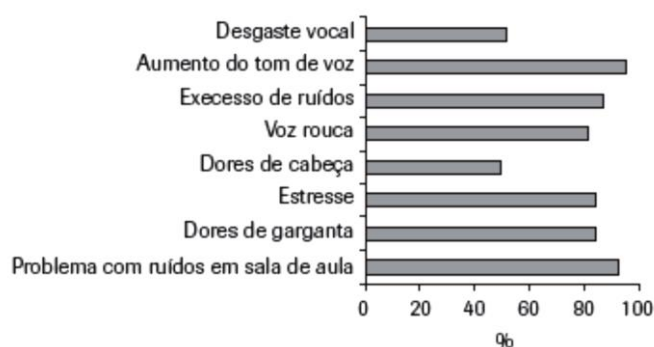
<sup>48</sup> GONÇALVES, Valéria de Sá Barreto; SILVA, Luiz Bueno da; COUTINHO, António Souto – **Ruído como agente comprometedor da inteligibilidade da fala dos professores**. 2009, p. 467.

<sup>49</sup> Ibid, pp. 467-468.

palavras entendidas, expressa em percentagem.” Para que a comunicação seja inteligível, esta deverá ser superior a 90%.<sup>50</sup>

Expostos ao excessivo ruído, os professores são levados a aumentar o volume da sua voz, o que nem sempre, apesar do esforço, faz aumentar a inteligibilidade da fala. Paralelamente a esta situação, ocorrem outras derivadas: o excesso de lotação das salas e a inalação do pó de giz (situação que se tem vindo a alterar-se através da aplicação de quadros brancos a marcador). Desta forma, as situações apresentadas, que ocorrem com frequência, trazem repercussões na saúde dos professores: a curto prazo, que sente fadiga e aumento do ritmo cardíaco por falar em esforço durante várias horas; a médio prazo, stress, rouquidão, dores de garganta e outras patologias semelhantes; a longo prazo, alterações a nível psicológico derivadas da frustração de não conseguir obter bons resultados no ato do ensino. Estes resultados foram já analisados por vários autores, destacando-se o estudo de António Coutinho e Valéria Gonçalves, cuja investigação incidiu em inquéritos aos docentes, medições em salas

#### Problemas com ruído que afetam o desempenho dos professores



**Gráfico 2** – Relativo aos problemas com ruído que interferem no desempenho dos professores.

Fonte: GONÇALVES, V.B; SILVA, L.B. da; COUTINHO, A.S. - Ruído como agente comprometedor da inteligibilidade da fala dos professores. p. 473.

de aula de São Paulo e respetivas conclusões. Deste estudo, importa destacar que as consequências provocadas pelo ruído e que afetam o desempenho dos professores são diversas e com elevadas percentagens, como se pode constatar no gráfico 2. Neste estudo, pode concluir-se que 94,6% dos professores afirmaram que a necessidade de aumentar o tom de voz é evidente. Outros graves sintomas referidos com abundância foram dores de garganta (83,8%), voz rouca (81,1%) e stress (83,8%).<sup>51</sup>

São várias as causas para estes problemas. Um deles está relacionado com a envolvente do estabelecimento de ensino: se existirem nesta outros agentes causadores do aumento da pressão sonora (aviões, fábricas, entre outros), certamente que o ruído existente na sala será maior do que em envolventes mais silenciosas. Outra causa é a reverberação existente no interior das salas, que pela confusão de ondas sonoras que origina, obriga a um maior esforço por parte do professor para se sobrepôr a todas as ondas sonoras que advêm de outros emissores e para se fazer ouvir.

<sup>50</sup> Ibid, p. 470.

<sup>51</sup> Ibid, p. 473.

## 5.2. Análise da influência do ruído no processamento auditivo por parte dos alunos

A influência do som e do ruído numa sala de aula não interfere só no desempenho e na saúde do professor. Também os alunos são alvo de consequências, como se poderá verificar de seguida.

Os alunos, quando questionados se conseguem ouvir o professor, respondem normalmente de forma afirmativa. Contudo, estes não se conseguem aperceber é que a voz do professor perde força e, conseqüentemente, inteligibilidade à medida que a distância entre este e o recetor vai aumentando.<sup>52</sup> Todavia, no decorrer de uma aula, o aluno é exposto a dois tipos de estímulos: o principal, que é a voz do professor, e o secundário, que são todos os ruídos competitivos (conversas dos colegas, arrastar de cadeiras, entre outros) que levam à sua distração. Desta forma, o aluno tem negligenciar todos os estímulos secundários para que a mensagem principal (emitida pelo professor) seja recebida sem distorções.<sup>53</sup> Esta situação nem sempre consegue ser contornada pelo aluno: por exemplo, “em várias salas de aula nos Estados Unidos, até 25% da informação pode ser perdida por causa do ruído e da reverberação”.<sup>54</sup>

Expostos a uma confusão de estímulos, os alunos têm que fazer um esforço maior para ouvir o professor, originando um grande desgaste e fazendo com que o ato de aprender seja muito cansativo para o aluno. Além disso, o mesmo nem sempre consegue, devido ao ruído que o envolve, concentrar-se no que está a ser ensinado pelo professor, gerando assim desinteresse e, conseqüentemente, uma diminuição do aproveitamento escolar e da qualidade de ensino. Estes problemas não abrangerão apenas os alunos com alguma deficiência a nível auditivo, mas também nos que tenham uma audição normal.<sup>55</sup>

## 5.3. Conclusões relativas à pertinência da questão

Após a análise desta questão, pode deduzir-se que a acústica é um elemento fundamental no meio escolar e que não deve ser descurado. A fala é um fator de extrema importância no contexto de aprendizagem, uma vez que é o meio utilizado pelo professor para difundir o conhecimento aos seus alunos.

Porém, segundo Dreossi e Momensohn-Santos (2005), são diversas as condicionantes que influenciam o processamento auditivo por parte dos alunos: os

---

<sup>52</sup> DREOSSI, Raquel Cecília Fischer; MOMENSOHN-SANTOS, Teresa – **O Ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula: revisão de literatura**. 2005, p. 252-253.

<sup>53</sup> Ibid, p. 253.

<sup>54</sup> GONÇALVES, Valéria de Sá Barreto; SILVA, Luiz Bueno da; COUTINHO, António Souto – Op. Cit., p. 470.

<sup>55</sup> DREOSSI, Raquel Cecília Fischer; MOMENSOHN-SANTOS, Teresa – Op. Cit., p. 256.

tipos de ruído exteriores à sala de aula; as características da voz do professor; distância entre o professor e os alunos; disposição das cadeiras e mesas dentro da sala de aula; e outros aspetos físicos da mesma (como tipo de pavimento, paredes, isolamento do edifício, ventilação existente, entre outros).<sup>56</sup>

Um facto que não pode ser esquecido é que a ocorrência da reverberação é uma das causas destes problemas. No contexto de sala de aula, é a reflexão não só da frequência que corresponde à fala do professor, mas também a reflexão dos restantes ruídos. Todas essas reflexões incidem nas várias superfícies que encontram (paredes, mesas e restantes equipamentos da sala, pavimento, entre outras). Este conjunto de fenómenos, conjuntamente com o ruído exterior, origina a falta de inteligibilidade da fala numa sala.

Os ruídos dentro da sala de aula podem ser minimizados através de algumas adaptações do espaço. Estas adaptações não têm que ter custos elevados necessariamente, mas infelizmente o que normalmente impede que se procurem soluções para o problema é a falta de perceção e consciencialização sobre o mesmo.<sup>57</sup>

Para ser possível a resolução do problema da reverberação das salas de aula deve ser feita uma análise e consideração dos materiais mais apropriados para a absorção e reflexão das ondas sonoras mais convenientes para os dois casos (perspetiva do professor e do aluno). A seleção dos materiais utilizados nas salas de aula e no mobiliário existente são um fator que pode alterar o comportamento do som nas salas, e desta forma facilitar o trabalho do professor e dos alunos. Esse será o princípio em que se centrará a execução do presente projeto: o tratamento da reverberação.

Em Portugal, a reverberação em edifícios escolares é regulamentada pelo Regulamento dos Requisitos Acústicos em Edifícios, que corresponde ao decreto-lei 96/2008, de 9 de Junho. Neste, é mencionada a intensidade sonora relativa aos sons aéreos de proveniência exterior, sons aéreos provenientes de espaços contíguos e sons de percussão. É também indicado que o tempo de reverberação  $T$  (“considerados mobilados e normalmente sem ocupação”<sup>58</sup>) de uma sala de edifícios escolares deverá satisfazer as condições dadas pelo cálculo da seguinte fórmula:  $T \leq 0,15 V^{1/3}$ , em que  $V$  corresponde ao volume do interior do recinto.

Como referência neste projeto, recorreu-se também à norma americana ANSI/ASA S12.60, que indica que o tempo de reverberação numa sala deve estar entre 0,4s e 0,6s. Para espaços com volume superior a 283m<sup>3</sup> não deve exceder os 0,6s e para volumes entre 283m<sup>3</sup> e 566m<sup>3</sup> não deverá ser superior a 0,7s.

---

<sup>56</sup> Ibid, p. 253.

<sup>57</sup> Ibid, p. 256.

<sup>58</sup> PORTUGAL, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional – Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho. **Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios**. Lisboa: Diário da República 1ª série. 110 (2008-06-09), p. 3369.

## 6. Estado da arte

A questão do estudo da acústica tem sido abordada desde há vários séculos, de forma gradual e espaçada no tempo. Ao longo deste, tentou-se estudar e compreender o funcionamento da audição, das ondas sonoras e das vibrações provocadas pelas mesmas, mas também a arquitetura acústica e a propagação sonora em salas.

A compreensão da música e do funcionamento do som remota ao século III a.C., através dos estudos do filósofo chinês Fohi.<sup>59</sup> Os primeiros a construir anfiteatros ao ar livre foram os gregos, no século I a.C.. Estes anfiteatros exigiam não só atenção ao nível da visibilidade dos espectadores, como também cuidados ao nível da acústica. Através dos teatros de que ainda hoje existem vestígios, é possível constatar que os gregos possuíam conhecimentos ao nível da acústica, “pelo menos empiricamente”.<sup>60</sup> Estudos revelam também que os atores das peças de teatro usavam máscaras que forma a amplificar e direcionar o som da sua fala.<sup>61</sup> Foi também na Escola de Pitágoras que se iniciaram os estudos da compreensão da propagação e perceção do som.

Posteriormente, os romanos introduziram algumas alterações aos anfiteatros idealizados pelos gregos, diminuindo a amplitude da semicircunferência para 180º e melhorando as estruturas destes (graças aos progressos nas áreas da arquitetura e engenharia).<sup>62</sup> Grande parte destes conhecimentos chegou até aos dias de hoje através de manuscritos e do livro *De Architectura*, da autoria de Vitruvius, em que aborda a importância de vários fatores na arquitetura, entre eles a acústica. Ele retratou também que a existência de vasos, colocados à mesma distância nos anfiteatros ajudariam a melhorar a acústica destes<sup>63</sup>. Embora nenhum desses vasos tenha persistido até à atualidade, “pensa-se que estavam afinados para alturas determinadas e, desta forma, funcionavam de modo semelhante aos ressoadores de Helmholtz”<sup>64</sup>, que consistem numa cavidade de paredes rígidas que contêm uma abertura estreita, cujas dimensões obtidas através de cálculos (que relacionam a frequência a absorver, a área e comprimento do gargalo, volume do ressoador e velocidade do som no ar) e absorvem uma frequência específica de forma rigorosa.<sup>65</sup>

Após o declínio do império romano, e a aceitação de uma nova religião (Cristianismo), ganha uma maior relevância a construção de igrejas. Durante os períodos que se seguiram, Românico e Gótico, foram construídas inúmeras catedrais

---

<sup>59</sup> LONG, Marshall – **Architectural Acoustics**. Oxford: Elsevier Ltd, 2006, p. 1.

<sup>60</sup> Ibid, p. 3.

<sup>61</sup> Ibid, p. 3.

<sup>62</sup> Ibid, p. 4.

<sup>63</sup> Ibid, p. 6.

<sup>64</sup> FERREIRA, Mácio Rafael – **Móveis Acústicos**. 2012, p. 12.

<sup>65</sup> HENRIQUE, Luís L. – Op. Cit., p.67.

e igrejas, em que a reverberação que existia nelas era propositada, de forma a dramatizar a ligação entre o material e o espiritual naqueles locais de adoração. Nestes casos, os cânticos e composições musicais eram adaptadas à reverberação dos espaços<sup>66</sup>, processo que atualmente se faz de forma inversa. A evolução do estudo do som pouco evoluiu até ao Renascimento.<sup>67</sup>

Entre os séculos XV e XVII, seguiu-se o Renascimento, que permitiu mais progressos na ciência e nas várias artes, corrente que se iniciou em Itália e que se foi difundido no resto da Europa. É nesta época que se retorna à construção de teatros, que se baseia nos teatros gregos e romanos. Contudo, estes novos teatros tinham pouco tratamento acústico para além dos tetos com vigas.<sup>68</sup> Paralelamente à aplicação destes conhecimentos, Leonardo da Vinci concluiu, após a observação dos ecos, que a propagação do som tinha uma velocidade finita.<sup>69</sup> Já Galileu verificou, no séc. XVI, que a altura de um som estava relacionada com a sua frequência. Marca, desta forma, o início do estudo da física da música que se desenvolveu até ao presente.

No decorrer do século XVII, Athanasius Kircher estudou várias áreas do saber como filosofia, teologia, matemática e física. Ao estudar e desenhar a formação do eco, demonstrou que a forma das paredes e tetos poderiam ser determinantes no modo como era feita a propagação do som. Enquanto isso, Newton procurava concretizar uma fórmula matemática para a propagação do som.<sup>70</sup> Igualmente nesta altura, em plena época Barroca, ainda era feita a adaptação das obras musicais aos espaços em que se tocava. Um compositor que elaborou obras segundo estes moldes foi Johann Bach, que escreveu obras tanto para espaços reverberantes (como foi o caso da missa em B Menor e a Paixão segundo S. Mateus), como para espaços de pequenas dimensões.<sup>71</sup> Joseph Sauveur elaborou no final do século XVII e início do século XVIII diversos estudos para compreender a música através da acústica, sendo considerado o criador da acústica musical.<sup>72</sup>

Durante o século XVIII, desenvolve-se essencialmente a acústica teórica. Foi através dos estudos de Pierre Laplace (que determinou um valor mais aproximado do valor real da velocidade do som), Daniel Bernoulli e Leonard Euler (cujos conhecimentos matemáticos aplicados à acústica permitiram compreender fenómenos como a altura, o timbre e a propagação sonora nos líquidos).<sup>73</sup>

Foi no final do século XIX, em pleno Romantismo, que as preocupações com o comportamento acústico se fizeram notar.<sup>74</sup> Com o aumento de salas de espetáculos nas décadas anteriores, a música adquire outro valor. Desprendendo-se da temática

---

<sup>66</sup> LONG, Marshall – Op. Cit., p. 13.

<sup>67</sup> Ibid, p. 20.

<sup>68</sup> Ibid, p. 15.

<sup>69</sup> HENRIQUE, Luís L. – Op. Cit., p. 19.

<sup>70</sup> LONG, Marshall – Op. Cit., p. 20.

<sup>71</sup> Ibid, p. 19.

<sup>72</sup> HENRIQUE, Luís L. – Op. Cit., p.24.

<sup>73</sup> Ibid, p. 24.

<sup>74</sup> LONG, Marshall – Op. Cit., p. 25.

religiosa e passando a ter relevância a nível social (com o aparecimento das óperas). Era utilizado o conhecimento empírico ao projetar salas de espetáculos um pouco por toda a Europa, sendo uma das maiores preocupações dos arquitetos da época, como Jean Louis Charles Garnier, que confessava que “não adotava nenhum princípio, o meu plano não se baseou em nenhuma teoria e deixei o sucesso ou fracasso ao acaso”.<sup>75</sup> Foi nas salas de maiores dimensões que prevaleceram os problemas relacionados com a reflexão tardia das ondas sonoras e com os tempos de reverberação demasiado longos.<sup>76</sup> Paralelamente a esta investigação na área da arquitetura, dava-se outro passo para a compreensão do funcionamento do som e na forma como era feita a sua captação. George Ohm, físico e matemático, deu a sua colaboração à acústica ao propor a que ficou conhecida como a lei acústica de Ohm, que afirma que o ouvido é capaz de apreender vibrações sinusoidais e diferenciá-las de um conjunto. Através desta primeira abordagem à audição surge a grande contribuição da segunda metade desse século. Hermann von Helmholtz foi médico e estudou várias áreas do conhecimento. Entre elas, investigou o corpo humano e conseguiu explicar o funcionamento do ouvido médio, assim como foi capaz de estabelecer uma teoria da audição, dando continuidade ao trabalho de Ohm. Esta descoberta foi essencial para a continuação do estudo dos instrumentos musicais, mas acima de tudo para a compreensão da perceção sonora. Como Ohm e Helmholtz, também o físico John Strutt Rayleigh pesquisava os fenómenos associados à propagação através de ondas. Foi o autor do *The Theory of Sound*, redigido em dois volumes e que ainda hoje é considerado uma referência nos livros escritos na área da acústica.<sup>77</sup> Começara, neste final de século, o início da evolução de uma panóplia de tecnologias que se tornaram determinantes até à atualidade: foi o caso do telégrafo por Ernst Siemens; do telefone por Alexander Graam Bell; e do fonógrafo por Thomas Edison.<sup>78</sup>

Apesar da evolução que constatou ao longo dos séculos que se tem vindo a analisar, só no século XX é que se iniciou a fundamentação teórica da arquitetura acústica. Foi graças a uma das maiores referências no estudo da acústica, Wallace Sabine, autor de grande parte dos conhecimentos da acústica de salas a que ainda se recorrem atualmente. A sua investigação começou com através de um pedido para melhorar as condições do auditório do Museu de Fogg Art. Assim, Sabine iniciou uma série de estudos e experiências para averiguar as razões que levavam à dificuldade da compreensão da fala. Da sua investigação resultou não só a primeira teoria de absorção sonora de materiais, como também a fórmula do cálculo de reverberação de salas. Após esta descoberta, Sabine aplicou os seus conhecimentos no projeto da *Symphony Hall* de Boston, considerada uma das melhores salas de espetáculos do

---

<sup>75</sup> “I must explain that I have adopted no principle, that my plan has been based on no theory, and that I leave success or failure to chance alone.” In **Architectural Acoustics**, p. 25.

<sup>76</sup> LONG, Marshall – Op. Cit., p. 25.

<sup>77</sup> Ibid, p. 31.

<sup>78</sup> Ibid, p. 31.

mundo.<sup>79</sup> As suas descobertas foram determinantes para a melhoria acústica de espaços e os seus conhecimentos continuam a ser aplicados atualmente. Também neste século surge a psicoacústica, cuja origem derivou de uma série de estudos da autoria de Harvey Fletcher.<sup>80</sup> É a partir desta altura que “a arquitetura acústica passou a ser reconhecida como ciência, assim como arte.”<sup>81</sup> Desde então é possível desenvolver projetos acústicos de melhor qualidade, principalmente no controlo de ruído e desenvolvimento de interiores mais eficazes acusticamente (derivado também de um aprofundado estudo de materiais). Esta aplicação é essencialmente feita em estúdios, no entanto as realidades entre a gravação de som e a sua performance ao vivo são distintas e exigem uma aplicação de conhecimentos diferentes e adequadas a cada espaço.

Atualmente, os estudos da acústica são elaborados na sua maioria por engenheiros acústicos, e a melhoria desses espaços feita com painéis acústicos ou outras formas de isolamento. Através de um estudo de mercado e empresas concorrentes é que se assegura que pouca é a oferta feita para além das referidas. Confirmar-se-á certamente que a acústica é uma área do conhecimento que pode continuar a ser investigada, e que trará mais-valias se for aliado o estudo da acústica a outras áreas do saber.

---

<sup>79</sup> LONG, Marshal – Op. Cit., p. 31.

<sup>80</sup> HENRIQUE, Luís L. – Op. Cit., p. 33.

<sup>81</sup> “In the twentieth century, architectural acoustics came to be recognized as a science as well as an art.”, In **Architectural Acoustics**, p. 34.

## 7. Análise de revestimentos e mobiliário existentes para acondicionamento acústico

Para perceber se este projeto é pertinente, foi feito um estudo de mercado para averiguar se existiam empresas a produzir o mesmo tipo de produtos a desenvolver ou como é que é dada resposta a estes problemas atualmente. Assim, foi necessário fazer a pesquisa por duas frentes: empresas que produzem mobiliário caracterizado como acústico; e empresas que oferecem aos seus clientes soluções que resolvam a problemática abordada neste trabalho.

Através desta análise, foi possível chegar a algumas conclusões que influenciaram o percurso do projeto. Grande parte das empresas que procuram resolver o problema da acústica em espaços interiores fazem-no através da aplicação de painéis acústicos que proporcionam (de acordo com as necessidades de cada espaço) a absorção ou reflexão das ondas sonoras e que, desta forma, diminuem o ruído existente nos espaços a tratar. Em segundo lugar, são poucas as empresas de mobiliário que abordam como conceito o acondicionamento acústico. As empresas que o fazem têm como principal objetivo a conceção de mobiliário para indústrias e escritórios, conseguindo que seja feita a absorção do ruído em alguns locais de trabalho. Contudo, não existe ainda desenvolvimento de equipamento com o mesmo conceito destinado a espaços escolares ou hospitalares, por exemplo.

Desta forma, é afirmável que o mobiliário a desenvolver é de cariz inovador, uma vez que nenhuma das empresas analisadas concebeu uma linha de mobiliário com características similares ao desenvolvido. O grau de inovação é ainda um fator ambíguo: por ser um produto novo no mercado, é muito difícil saber qual será a sua absorção neste; no entanto, o que esperamos é que a inovação seja um fator positivo, uma vez que confere um maior conforto para o utilizador final, pretendendo-se obter peças uma múltipla funcionalidade que se espera que sejam apelativas para o cliente e que melhorem consideravelmente a sua qualidade de vida nos níveis da saúde e da educação.

Em seguida expõem-se as empresas mais relevantes na área do mobiliário acústico e na apresentação de soluções de melhoria da acústica de espaços interiores. Este tema finaliza-se com um estudo de mercado ao nível da área de intervenção específica deste projeto, abordando de forma generalizada o estado do mercado do equipamento escolar.

## 7.1. Análise de empresas que desenvolvem soluções de isolamento acústico através da aplicação de painéis acústicos

Grande parte das empresas que proporcionam aos seus clientes o serviço de tratamento acústico opta por desenvolver soluções sob a forma de painéis acústicos. Diversificando ao máximo as possibilidades de formas e texturas procurando potencializar o seu produto e conseguindo trazer melhorias aos espaços propostos pelos clientes. De seguida apresentam-se algumas dessas empresas de forma a analisar que tipos de metodologias e produtos é que são obtidos das mesmas.

A Auralex Acoustics surgiu com o objetivo de criar produtos acústicos com um preço mais acessível, uma vez que aquando o seu aparecimento (na década de 70), estes tinham preços muito elevados. Comercializam várias gamas de produtos com diferentes propriedades: de absorção, de difusão, de construção de isolamento, entre outros.<sup>82</sup> Uma curta gama designa-se por “Home Design” sendo, como o nome indica, direcionada para o público que pretenda melhorias acústicas na habitação. No entanto, esta gama tem pouca diversidade, levando a querer que esta empresa não tem como objetivo a expansão neste ramo.

Também pouco direcionada para o ramo habitacional encontra-se a Primacoustic. Esta empresa especializa-se em soluções para estúdios, igrejas e outros locais relacionados com música.<sup>83</sup> A oferta da Primacoustic é bastante semelhante à da Auralex Acoustics, tendo como principais produtos os de absorção e de difusão.

No caso da RPG Acoustics, esta apresenta-se ao mercado como uma empresa que, tal como as mencionadas anteriormente, resolve as questões acústicas de uma sala, adequando as soluções aos problemas propostos: absorção, difração, ou ambos em simultâneo. Para um bom desempenho dos seus objetivos integra na sua equipa arquitetos, engenheiros e técnicos de acústica que, através de um trabalho multidisciplinar, analisam os problemas que lhes são colocados.<sup>84</sup> Uma das formas que a RPG tem para se destacar das suas concorrentes é o facto de possuir laboratórios, podendo desta forma ter uma evolução contínua e mantendo-se na



**Fotografia 5** — Aplicação de painéis acústicos Topperfo® Graphic, produzidos pela RPG.

Fonte: <http://www.rpginc.com/>

<sup>82</sup> **The History of Auralex.** In Auralex Acoustics.

<sup>83</sup> **About Primacoustic.** In Primacoustic.

<sup>84</sup> **Company Overview.** In RPG Diffusor Systems.

vanguarda na apresentação de soluções. Esta empresa procura já aliar o design (evidencia a relação com o design gráfico) às soluções que apresenta, como o exemplo ilustrado na fotografia 5.

Com sede em Portugal, a Vicoustic procura destacar-se no mercado como uma das empresas mais dinâmicas na área das soluções acústicas. A sua metodologia incide não só num elevado aprofundamento de pesquisa para desenvolver produtos e serviços inovadores, mas também na procura de parcerias com universidades, institutos de ciências e engenheiros acústicos de toda a Europa. A principal missão da Vicoustic é fazer com que os utilizadores dos seus produtos melhorem a forma como ouvem a música, de uma forma acessível.<sup>85</sup> A Vicoustic divide o seu trabalho em três áreas de abrangência: Building & Construction, onde procura desenvolver soluções para preexistências de escolas, escritórios, pavilhões, fábricas, entre outros (fotografia 6.1); Music & Broadcast, dedicada ao desenvolvimento de soluções para espaços dedicados à área da música, como estúdios e salas de captação (fotografia 6.2); e Hi-Fi & Home Cinema, particular para o tratamento de espaços habitacionais, como salas de estar (fotografia 6.3). Através desta organização empresarial, pode constatar-se que a Vicoustic procura atingir vários segmentos de mercado, apresentando propostas distintas para cada situação.



Fotografias 6.1, 6.2 e 6.3 – Projetos de acondicionamento acústico em salas de aula, estúdios e salas de estar, desenvolvidos pela Vicoustic.

Fonte: <http://www.vicoustic.com/>

Os produtos criados têm também a particularidade de refletirem uma preocupação com a aparência, resultando disso painéis com texturas e formatos que



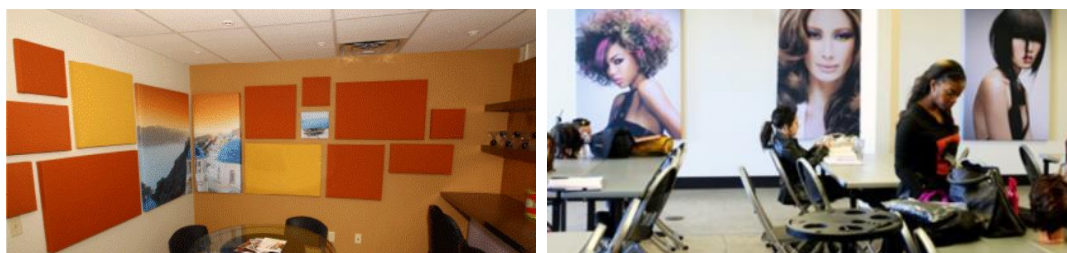
se distinguem no mercado (fotografias 7.1, 7.2 e 7.3).

Fotografias 7.1, 7.2 e 7.3 – Painéis acústicos desenvolvidos pela Vicoustic.

Fonte: <http://www.vicoustic.com/>

<sup>85</sup> **About us.** In Vicoustic – Innovative Sound Solutions.

A empresa Audimute presta serviços de otimização da acústica de espaços interiores e comercialização de painéis e outros revestimentos acústicos. Fez a sua adaptação ao mercado através da criação de várias linhas de produtos, tentando que o cliente final possa dar aos mesmos alguma personalização através de texturas, imagens, entre outros. Propõe também aos potenciais compradores várias formas de aplicação dos mesmos, apresentando imagens de propostas de aplicação (fotografias 8.1 e 8.2).<sup>86</sup>



**Fotografias 8.1 e 8.2** – Soluções de acondicionamento acústico personalizadas, desenvolvidas pela Audimute.

Fonte: <http://www.audimutesoundproofing.com/>

A Urban Office Interiors oferece aos seus clientes algumas soluções para a melhoria acústica de escritórios. De forma a enriquecer o espaço com alguma cor, e aliando o carácter decorativo à preocupação com a acústica<sup>87</sup>, proporciona assim soluções de diversas cores e formas (fotografias 9.1, 9.2 e 9.3).



**Fotografias 9.1, 9.2 e 9.3** – Soluções de acondicionamento acústico (linhas “Ocean”, “Honeycomb” e “Airflake”), desenvolvidas pela Urban Office Interiors.

Fonte: <http://www.urban-office.com/>

Através de uma metodologia diferente, o estúdio de Anne Kyyrö Quinn desenvolve um outro conceito de painéis acústicos. Mais direccionada para o tratamento do têxtil, destaca-se pelo trabalho desenvolvido manualmente que marca os espaços em que se insere através dos jogos de textura criados que remetem a simplicidade dos têxteis a um outro nível<sup>88</sup>. Procuram não ser unicamente apelativos ao olhar, mas também ao

<sup>86</sup> Audimute Soundproofing Newsletter September 2012. In Audimute Soundproofing.

<sup>87</sup> Office Acoustics. In Urban Office Interiors.

<sup>88</sup> The bespoke art of felt and fabric. In Anne Kyyrö Quinn.

tato e à audição através da melhoria das condições acústicas dos espaços (fotografia 10).

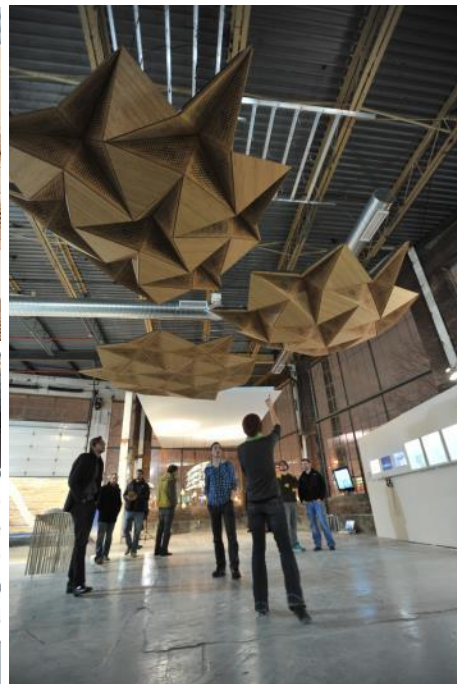


**Fotografia 10** – Solução de acondicionamento acústico através de aplicação de têxteis, pelo atelier Anne Kyrö Quinn.

Fonte: <http://www.annekvvrouquinn.com/>

Recentemente, foi também desenvolvida e implementada uma nova forma de variar a acústica de espaços. A Resonant Chamber (fotografias 11.1, 11.2 e 11.3) é fruto de uma profunda investigação e consiste numa tipologia de painel que, pelas suas características, permite a adaptação do mesmo às propriedades sonoras do espaço em que se insere. Inspirado no origami, este painel que concilia uma forte componente de eletrónica e de design faz com que seja possível o ajuste dos painéis, expondo mais ou menos os materiais absorventes e criando mais ou menos ângulos e permitindo, desta forma, maior ou menor

absorção ou reflexão das ondas sonoras.<sup>89</sup>



**Fotografias 11.1, 11.2 e 11.3** – Implementação e funcionamento da Resonant Chamber.

Fonte: <http://www.evolo.us/architecture/resonant-chamber-is-an-acoustically-responsive-envelope/>

<sup>89</sup> GROZDANIC, Lidija – **Resonant Chamber is an Acoustically Responsive Envelope**. In eVolo Magazine.

A aplicação destes painéis possibilita que a difusão sonora seja feita de forma uniforme nas salas de espetáculos, permitindo que o utilizador, independentemente do lugar que escolha, possa sempre usufruir de um bom espetáculo a nível auditivo.<sup>90</sup> O projeto deste equipamento foi elaborado no âmbito da investigação do atelier canadiano RVTR. Esta investigação desenvolveu-se através da parceria dos consultores acústicos da Arup Acoustics que determinaram quais os melhores materiais e dimensões a aplicar nos componentes utilizados.<sup>91</sup>

## 7.2. Análise de empresas que desenvolvem soluções de acondicionamento acústico através de mobiliário

Atualmente, existem algumas empresas que começam a desenvolver alguns produtos na área do mobiliário com características acústicas, de forma a complementar as funções anteriormente desempenhadas apenas pelos painéis acústicos, de que foram apresentados alguns exemplos. Em seguida apresentar-se-ão algumas destas empresas que incidiram com o seu trabalho aliando o tratamento acústico ao mobiliário, assemelhando-se ao que é objeto de estudo neste projeto.

Um destes casos é o da *Après Furniture*. Esta empresa, do ramo mobiliário, procura auxiliar arquitetos, designers e clientes a conceber as melhores condições nas áreas de trabalho, procedendo ao acompanhamento das várias fases do projeto<sup>92</sup>. Para além de comercializar painéis acústicos (que têm como objetivo “a absorção sonora em open spaces, como restaurantes, receções, bibliotecas, escritórios, call centres ou espaços habitacionais”<sup>93</sup>), a *Après Furniture* desenvolve uma vasta gama de mobiliário para diversas funcionalidades, incidindo uma pequena parte da sua produção em mobiliário com características acústicas. Este tipo de mobiliário recai principalmente numa linha de sofás que, pelas suas características, permitem que o som exterior seja absorvido antes de chegar ao utilizador, propiciando a quem está no sofá um ambiente de concentração, eliminando distrações de ruídos provenientes do “exterior”. Assim, é possível, como nos exemplos apresentados nas fotografias 12.1, 12.2 e 12.3, criar pequenos espaços em escritórios amplos em que se pode relaxar, conversar com colegas de trabalho ou isolar-se para conseguir uma melhor concentração.

---

<sup>90</sup> SALVADO, Hugo – **Mudam-se os sons... Movem-se as paredes?**. In P3.

<sup>91</sup> GROZDANIC, Lidija – Op. Cit.

<sup>92</sup> **About Après**. In *Après Furniture*.

<sup>93</sup> **Acoustic Wall Panels**. In *Après Furniture*.



**Fotografias 12.1, 12.2 e 12.3** – Mobiliário acústico para escritórios, “Trapeze Sofa”, “Marea Acoustic Sofa” e “Cwtch Workbay Sofa”, comercializados pela Après Furniture.

Fonte: <http://www.apresfurniture.co.uk/>

Concebendo produtos semelhantes aos apresentados anteriormente está a empresa holandesa PROOFF, que se aliou a outros ateliers de design para criar um conjunto de peças com características especiais. Consciente das mudanças no ambiente de trabalho, esta marca criou algumas peças que procuram aliar o conforto físico ao conforto acústico dos seus utilizadores. PROOFF procura dar ao público “ferramentas práticas” e deixa-se influenciar pelas mudanças que deteta na forma como as pessoas encaram os momentos de trabalho e de lazer<sup>94</sup>, proporcionando-lhes peças que os melhorem de forma considerável.



**Fotografias 13.1, 13.2 e 13.3** – Mobiliário acústico, “Niche”, “PhoneBox” e “EarChair”, desenvolvidos pela PROOFF.

Fonte: <http://www.prooff.com/>

A empresa que melhor se enquadra no conceito de mobiliário a conceber é a ReSpace Acoustics. Caracteriza-se por ser uma empresa que providencia intervenções na área da acústica em qualquer tipo de espaço, como escritórios, escolas, restaurantes e espaços habitacionais.<sup>95</sup> Apesar da área de intervenção da ReSpace incida não só na conceção de painéis acústicos e isolamento sonoro através de tetos e pavimentos, trabalha também na componente do mobiliário acústico, que é a mais importante a ter em conta neste projeto. Deste leque de produtos, destacam-se o sofá Octo Modular Unit (fotografia 14.1) que pela constituição, na maioria de espuma acústica extremamente absorvente, e uma solução acústica ideal para receções e salas de estar. Mais adequada ao ambiente de escritório foi desenhada a Ethos Operator Chair (fotografia 14.2), igualmente boa na componente da absorção acústica, aliada ao conforto requerido para desempenho de funções em exigem ao seu utilizador muito

<sup>94</sup> **About us.** In Prooff.

<sup>95</sup> **Interior Acoustic Solutions.** In ReSpace Acoustics.

tempo sentado à secretária. De destaque são também os armários acústicos (fotografia 14.3), construídos de forma a reduzir o ruído de escritórios, como também evitar que os próprios armários sejam uma fonte de amplificação sonora. A ReSpace Acoustics desenhou e comercializa ainda outro produto inovador por excelência: as cortinas acústicas (fotografia 14.4), cuja finalidade é a absorção do som de forma a evitar que a seja feita a sua reflexão nos vidros das janelas e, desta forma, diminuindo a reverberação.



**Fotografias 14.1 a 14.4** – Mobiliário acústico para escritórios, “desenvolvidos pela ReSpace Acoustics.

Fonte: <http://www.respace-acoustics.co.uk/>

Existem, no entanto, outras empresas que enfatizam mais o tratamento da acústica de sala, resolvendo-o através da compartimentação de espaços. A AGORaphil é uma empresa alemã que também se debruça sobre o tratamento acústico de salas. Tendo em portfolio o tratamento de algumas salas de grandes dimensões, comercializa igualmente algumas peças de mobiliário.<sup>96</sup> Este mobiliário tem como função exclusiva o tratamento acústico de salas (como se pode observar pelas fotografias 15.1 , 15.2 e 15.3), faltando-lhe a multifuncionalidade que se pretende atingir com o presente projeto.



**Fotografias 15.1, 15.2 e 15.3** – Mobiliário para tratamento acústico de escritórios, comercializados AGORaphil.

Fonte: <http://www.agoraphil.de/>

<sup>96</sup> **AGORaphil Acoustic Furniture/Interior.** In AGORaphil.

Outra aplicação de melhoria acústica e de características distintas é o Fort Partition, da autoria de Arihiro Miyake. O atelier deste designer desenvolveu uma divisória em plástico PET reciclado cuja funcionalidade é a melhoria da acústica dos espaços em que se inserir. A integração de ímanes permite uma fácil montagem e a sua constituição de módulos quadrados permite uma extensão sem limitações, ao



gosto do utilizador.<sup>97</sup>

Fotografias 16.1, 16.2 e 16.3 – Fort Partition, divisória desenvolvida por Arihiro Miyake.

Fonte: <http://www.arihiromiyake.com/>

### 7.3. Análise de empresas de outras áreas e serviços que adotam uma postura de valorização da acústica

Hoje em dia, alguns espaços públicos e privados são tratados acusticamente. Esse tratamento é, há muito, feito em espaços onde a acústica é determinante no bom funcionamento do mesmo: é o caso de estúdios de música e salas de espetáculos. Recentemente, começou a valorizar-se o tratamento acústico em espaços privados, como é o caso das salas com sistemas *home cinema* ou salas de estar de habitações. Todavia, existem algumas empresas recorrem à acústica como forma de melhorar os seus serviços ou as condições de trabalho aos seus funcionários.

É o caso da cadeia de restaurantes Pizza Express, que adaptou um novo conceito de valorização da acústica aplicando-o à restauração: no Living Lab, em Richmond, os clientes são confrontados com um restaurante com características que o distinguem em vários aspetos. Desenhado pelo atelier de design londrino Ab Rogers, este espaço tem algumas particularidades: para além de ser possível visualizar a elaboração das pizzas através de espelhos convexos (fotografia 17.1) junto ao local de confeção das refeições, os clientes podem colocar em reprodução o seu



Fotografia 17.1 – Interior da pizzaria Pizza Express de Richmond.

Fonte:  
<http://www.dezeen.com/2011/01/05/living-lab-by-ab-rogers-for-pizza-express/>

<sup>97</sup> Fort. In Studio Arihiro Miyake.

estilo de música ou conversar sem perturbar nem ser perturbados pelos restantes clientes. É através de um sistema existente na mesa para ligar o iPod e da cúpula desenhada de forma a criar uma ambiência sonora perfeita para que os clientes possam conversar entre si. (fotografias 17.2 e 17.3).<sup>98</sup>



**Fotografias 17.2 e 17.3** – Zona de refeições da pizzaria Pizza Express de Richmond e funcionamento de uma das cúpulas que melhoram a acústica do espaço.

Fonte: <http://www.dezeen.com/2011/01/05/living-lab-by-ab-rogers-for-pizza-express/>

Para este projeto aliaram-se especialistas de várias áreas, como designers, cozinheiros, professores de acústica e diretores de teatros, entre tantas outras personalidades<sup>99</sup>, de forma a conseguir o melhor resultado neste estabelecimento.

Esta não é a única loja da cadeia que valoriza a acústica. Na Pizza Express de Plymouth, também no Reino Unido, a acústica é tida em conta com uma abordagem diferente. Da autoria do designer Adrian Baynes, do Atelier Baynes & Co e com inspiração na marinha, a aplicação da acústica é feita através do desenho de uma tatuagem numa das paredes (representada através do contorno feito com furações de 12mm na madeira, que permitem a absorção sonora de uma frequência específica). Aliado a esse sistema está também o tratamento feito no teto, que incentiva à



conversação dos clientes sem serem perturbados pelo ruído envolvente.<sup>100</sup>

**Fotografias 18.1 e 18.2** – Interior da pizzaria Pizza Express de Plymouth.

Fonte: <http://retaildesignblog.net/2012/01/18/pizza-express-by-baynes-co-designers-plymouth/>

<sup>98</sup> ETHERINGTON, Rose – **Living Lab by Ab Rogers for Pizza Express**. In Dezeen Magazine.

<sup>99</sup> Ibid.

<sup>100</sup> **Pizza Express by Baynes & Co Designers, Plymouth**. In Retail Design Blog.

Este sistema foi personalizado para o local, de forma a conter o ar condicionado e melhorando a acústica do espaço.<sup>101</sup>

Outro exemplo de um restaurante desenhado com o cuidado de o tornar acusticamente confortável é o The Cave Restaurant, em Sidney. Com este projeto, os arquitetos japoneses do atelier Koichi Takada procuraram melhorar “a forma como se come e se conversa em restaurantes”.<sup>102</sup> Os perfis em madeira ao longo do restaurante contribuem para uma atmosfera similar à de um estúdio de som devido às volumetrias variadas, gerando também uma ambiência com uma elevada riqueza visual com contrastes de luz e sombras projetadas pelos volumes, como se pode observar nas fotografias abaixo.



Fotografias 19.1 e 19.2 – Interior do restaurante The Cave em Sidney.

Fonte: <http://www.contemporist.com/2010/04/06/the-cave-restaurant-by-koichi-takada-architects/>

---

<sup>101</sup> **Pizza Express – The Barbican Leisure Park – Plymouth.** In Baynes & Co.

<sup>102</sup> **The Cave Restaurant by Koichi Takada Architects.** In Contemporist.



## 8. Análise de empresas que desenvolvem soluções de equipamento escolar

De forma a direcionar a investigação do presente projeto para o desenvolvimento de produtos específicos para o meio escolar, foi essencial elaborar um estudo de mercado que abordasse esta área. Deste modo, foi possível compreender o que existe no mercado atualmente e proceder a uma análise dos produtos concorrentes.

Em Portugal, o mercado do equipamento escolar limita-se a um reduzido número de empresas<sup>103</sup>, e encontra-se monopolizado a um número restrito destas (uma vez que as escolas do ensino público são equipadas, na sua maioria, pela mesma empresa). Neste estudo, a análise foi direcionada para o tipo de equipamentos (formas, materiais e design) executados por quatro empresas a operar no território nacional, sendo esta a base de análise e consideração. Para a análise das tipologias de equipamentos existentes, assim como as suas formas e materiais utilizados, foram analisadas as empresas com maior destaque na produção/comercialização do mobiliário escolar.

A Equipex é uma empresa especializada em mobiliário escolar em funcionamento desde a década de 70. É o fornecedor de equipamento escolar do Ministério da Educação e de grande parte das Câmaras Municipais. Para além da comercialização deste tipo de equipamento, expandiu o desenvolvimento também aos jogos didáticos e ao mobiliário de escritório.<sup>104</sup> Relativamente aos produtos comercializados, os equipamentos desenvolvidos pela Equipex para o ambiente escolar são bastante semelhantes. Independentemente da linha, as mesas e cadeiras possuem estrutura metálica tubular, com tampos/assentos e encostos em madeira com acabamento laminado. Quantos às formas, estes diferem ligeiramente de linha para linha (fotografias 20.1 e 20.4), enquanto os acabamentos diferem na cor do laminado ou na cor aplicada na estrutura metálica (fotografias 20.2 e 20.3).



<sup>103</sup> **Lista de empresas de mobiliário.** In Rede de Bibliotecas Escolares. Lisboa: Ministério da Educação e Ciência.

<sup>104</sup> **Sobre a Equipex.** In Equipex. Lisboa: 2002.



**Fotografias 20.1 a 20.4** – Mobiliário escolar, “Linha I”, “Linha S”, “Linha R” e “Linha E”, produzidos pela Equipex.

Fonte: <http://www.equipex.pt/>

Posteriormente, na década de 80, surge a Mobapec, também especializada na produção e comercialização de mobiliário escolar. Centrada na política de investigação e desenvolvimento, procura responder em tempo útil às necessidades dos seus clientes, ganhando assim uma posição de destaque no mercado nacional. Os seus produtos são igualmente desenvolvidos com elevado rigor no que trata a qualidade e seguindo as normativas impostas.<sup>105</sup> Quanto aos equipamentos disponíveis, estes em pouco diferem com as propostas de outras empresas no ramo a nível nacional. Embora com várias soluções de materiais (equipamentos totalmente em madeira ou com estrutura metálica), oferece alguma variedade de acabamentos dos tampos/assentos e encostos (essencialmente ao nível da cor) mas mantém formas convencionais para estes equipamentos (fotografias 21.1 a 21.4).



**Fotografias 21.1 a 21.4** – Mobiliário escolar com estrutura metálica e estrutura em madeira, produzidos pela Mobapec.

Fonte: <http://www.mobapec.pt/>

---

<sup>105</sup> **Quem Somos.** In Mobapec.

A Nautilus, fundada em 1996, estabelece-se pela inovação, elegância e longevidade, para que, como a própria empresa refere no seu site, o “moderno não se confunda com o efêmero”<sup>106</sup>. Os seus públicos-alvo são diversos tipos de instituições, tanto públicas como privadas, que necessitem de equipamentos desta natureza (estabelecimentos escolares, centros de formação, entre outros). O nicho de mercado principal centra-se na produção de mobiliário escolar para as várias faixas etárias (desde o ensino pré-escolar ao ensino superior). No entanto, esta empresa produz igualmente alguns equipamentos específicos para bibliotecas, mediatecas, museus e residências.<sup>107</sup> Os equipamentos da Nautilus afastam-se ligeiramente das empresas anteriores, não só a nível da forma, mas principalmente na oferta disponível. Quanto às cadeiras, para além das cadeiras com estrutura em madeira (fotografia 22.1) ou metálica, a oferta estende-se ao recurso a materiais como o polipropileno (fotografia 22.2), aumentando desta forma o seu leque de oferta. Mas é nas cadeiras de estrutura metálica que se pode observar diferentes formas de integração da estrutura no desenho do equipamento (fotografias 22.3 e 22.4).



**Fotografias 22.1 a 22.4** – Cadeiras de diferentes materiais e formas, linhas “Q3”, “Mais” e “Uni”, comercializadas pela Nautilus.

Fonte: <http://www.nautilus.pt/>

Relativamente às mesas, estas são similares às analisadas até então. Constituídas por estruturas em metal ou madeira, com tampo em aglomerado revestido a termolaminado, a forma e a construção possuem pouca diferenciação das propostas oferecidas pela concorrência (fotografias 23.1 e 23.2). Exceção a estes casos são as mesas direcionadas para o uso informático, que possuem um sistema adequado para a passagem de cabos (que consiste numa furação efetuada no tampo da mesa, com um canal inferior para cabos e tomadas), que as diferencia e potencia para um problema específico (fotografia 23.3).

<sup>106</sup> **Perfil da Empresa.** In Nautilus. 2011.

<sup>107</sup> **Empresa.** In Nautilus. 2011.



**Fotografias 23.1, 23.2 e 23.3** – Mesas, linhas “Q3” e “Mesa de informática Q3” comercializadas pela Nautilus.

Fonte: <http://www.nautilus.pt/>

A partir de 1993, também a Nortescolar se insere no mercado. Esta tem como principal objetivo disponibilizar todos os equipamentos necessários para mobilar uma escola, não só na área do mobiliário, mas também na componente da tecnologia e audiovisuais. Esta forma de ver o negócio levou esta empresa a expandir a sua oferta a países como Angola, Cabo Verde e Moçambique.<sup>108</sup> Relativamente à oferta desta empresa, pouco se afastam do equipamento produzido pela empresa analisada anteriormente. Enquanto a oferta das cadeiras tem variações dos materiais utilizados – estrutura metálica com assento e encosto em madeira ou em polipropileno ou totalmente concebida em polipropileno de alta resistência (fotografias 24.1 a 24.3) - as mesas apresentadas são idênticas à linha “Q3” (fotografia 25.1). Diferencia-se por possuir, na sua oferta, uma mesa de pernas rebatíveis para arrumação (25.2).



**Fotografias 24.1, 24.2 e 24.3** – Cadeiras de diferentes materiais e formas, comercializadas pela Nortescolar.

Fonte: <http://www.nortescolar.pt/>

---

<sup>108</sup> **Empresa.** In Nortescolar. 2010.



**Fotografias 25.1 e 25.2** – Mesa dupla e mesa dupla com pernas rebatíveis, comercializadas pela Nortescolar.

Fonte: <http://www.nortescolar.pt/>

Após a análise dos produtos das empresas anteriores, constata-se que o mobiliário por elas produzido e/ou comercializado não possui muitas diferenças entre si. Tal facto sucede por várias razões: os materiais são escolhidos por não serem prejudiciais à saúde, serem fáceis de trabalhar e ou terem custos de produção relativamente reduzidos. Quanto às formas, estes equipamentos são desenvolvidos de forma a resolverem problemas associados à ergonomia e segurança, tendo para tal de ser regulamentados pelas normas existentes (neste caso específico pela norma europeia EN 1729 e pelos referenciais técnicos referentes ao apetrechamento dos estabelecimentos escolares, que serão analisados posteriormente). Desta forma, obtêm-se equipamentos pouco inovadores, mas que respondem essencialmente aos problemas associados ao conforto e à facilidade de produção.

Relativamente ao panorama internacional, constatou-se que os equipamentos comercializados noutros países da Europa pouco diferem dos equipamentos comercializados em Portugal. Uma das principais razões que leva a esse facto relaciona-se com as normativas existentes. Dado que as normas referentes a mobiliário escolar (associadas às dimensões e à segurança e resistência dos equipamentos) praticadas se estendem a múltiplos países da Europa, a consequência é a conceção de equipamentos semelhantes em vários aspetos. Também as exigências económicas e ambientais (que se dirigem, cada vez mais, a uma maior racionalização dos recursos), levam a que a inovação e a procura de novas formas no desenvolvimento dos produtos tenham uma menor relevância (comparativamente a outros fatores já mencionados, como o económico). Exemplo disso são alguns equipamentos comercializados em Itália (fotografias 26.1 a 26.4), que recorrem aos mesmos materiais e formas que as empresas portuguesas empregam. Este não é caso único, e outro exemplo disso são os equipamentos comercializados no Reino Unido, que também recorre aos metais, madeiras e polímeros de alta resistência para desenvolvimento dos seus produtos (figuras 27.1 a 28.4). Tal como em Portugal, algumas das empresas a atuar em cada país trazem a este mobiliário alguns aspetos

de cariz inovador comparativamente às suas concorrentes, essencialmente nalgumas formas de assentos/encostos, ou na oferta a nível de acabamentos.



**Fotografias 26.1 a 26.4** – Cadeiras e mesas comercializadas em Itália, desenvolvidas pela Mobiliascuola.

Fonte: <http://www.mobiliscuola.it/>



**Fotografias 27.1 a 27.5** – Cadeiras de diferentes materiais e formas comercializadas no Reino Unido, produzidas pela dfe UK Limited e pela Morleys.

Fontes: <http://www.furnitureforschools.co.uk/> | <http://www.morleys.co.uk/>



**Fotografias 28.1 a 28.4** – Mesas comercializadas no Reino Unido, produzidas pela dfe UK Limited e pela Morleys.

Fontes: <http://www.furnitureforschools.co.uk/> | <http://www.morleys.co.uk/>

Ainda no mercado internacional, pode constatar-se que fora da Europa também os equipamentos se apresentam de forma semelhante. São constituídos essencialmente por mesas e cadeiras adequadas à faixa etária do estabelecimento de ensino.

Apresentam também garantias de durabilidade e resistência, fáceis de limpar, com superfícies bem lixadas e revestimento protetor. Quanto aos materiais utilizados predominam as madeiras, as estruturas em aço e algumas soluções recorrendo a polipropileno de alta resistência. Exemplo disso são os equipamentos comercializados para os estabelecimentos de ensino dos Estados Unidos da América, conseguidos de forma idêntica aos produzidos e comercializados em muitos países a nível mundial. Destacam-se as cadeiras com estrutura inteiramente em madeira, assim como o assento e o encosto (fotografias 29.1 a 29.3), assim como mesas e cadeiras com componentes em metal e polipropileno (fotografias 29.4, 29.5 e 30).



**Fotografias 29.1 a 29.5** – Cadeiras de diferentes materiais e formas comercializadas nos Estados Unidos da América, produzidas pela Lakeshore e pela Hertz Furniture.

Fontes: <http://www.lakeshorelearning.com/> | <http://www.hertzfurniture.com/>



**Fotografia 30** – Mesa com estrutura em polipropileno e metal, produzida pela empresa americana Lakeshore.

Fonte:  
<http://www.lakeshorelearning.com/>

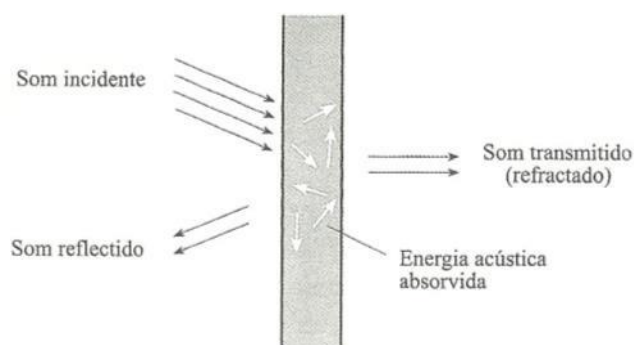
Conclui-se, desta forma, que o mobiliário é desenhado de forma bastante semelhante um pouco por todo o mundo. Todos os equipamentos cumprem uma série de requisitos, de que se destacam a resistência, durabilidade, ergonomia, segurança e economia. O cumprimento destes requisitos resulta em linhas de mobiliário que podem ser mais desenvolvidas e podendo obter resultados inovadores sem descurar a consideração dos parâmetros referidos.



## 9. Acústica de salas

A acústica de salas consiste numa vertente de investigação da área da acústica que aprofunda e procura melhorar a percepção auditiva no interior de salas. Através do crescente estudo no que trata o som, é possível constatar que este é complexo, principalmente quando gerado em espaços fechados. A sua influência é crucial: é ela que determina a resposta do comportamento do som pela sala, através das suas reflexões em todos os seus limites (pavimento, paramento e teto), e qual o percurso das mesmas.<sup>109</sup>

Quando um som é emitido, é possível perceber que ele não se cessa de forma imediata, mantendo-se no espaço durante alguns segundos enquanto vai perdendo intensidade.<sup>110</sup> Pretende-se, com o estudo da acústica de salas, “é que haja o máximo de energia sonora, sem perda de inteligibilidade”.<sup>111</sup> Contudo, o comportamento do



**Esquema 3** – Comportamento do som quando em contacto com uma parede, em que se constata que parte da sua energia é perdida.

Fonte: HENRIQUE, Luís - *Acústica Musical*, p.764.

espaço, como se pode constatar no esquema 3. São comportamentos como os deste exemplo que determinarão a reverberação de uma sala.

Outro fator importante é a «resposta» de uma sala aos estímulos feitos por parte das ondas sonoras (de que são exemplo os fenómenos falados anteriormente, como a reflexão, absorção ou difusão).<sup>112</sup>

Esta resposta dá a indicação de que os materiais e equipamentos existentes numa sala são ou não indicados para a compreensão de um discurso, mas também ajuda o ouvinte a compreender as dimensões do espaço que o rodeia, pois as ondas sonoras

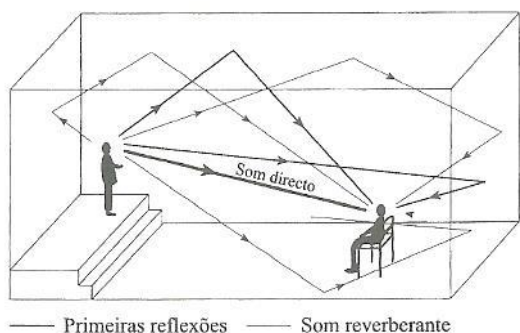
<sup>109</sup> FERREIRA, Mácio R. – *Móveis Acústicos: Condensação, Optimização e Validação*. 2012, p. 11.

<sup>110</sup> *Comportamento do Som em Salas*. In Universidade Comunitária da Região de Chapecó, p. 1.

<sup>111</sup> HENRIQUE, Luís L. – Op. Cit., p. 759.

<sup>112</sup> Ibid, p. 760.

podem, ao ser difundidas, melhorar a sensação de envolvimento.<sup>113</sup> De qualquer forma, a energia sonora proveniente das ondas diretas será sempre superior à das ondas



reverberantes, uma vez que o percurso feito por estas foi maior e a sua intensidade foi-se perdendo ao longo do percurso. Não quer isto dizer que o contributo dos sons indirectos não é importante: nalguns casos é o som reverberante que é o mais captado pelo ouvinte, se as superfícies existentes no espaço forem muito refletoras.<sup>114</sup>

**Ilustração 1** – Comportamento do som numa sala: existência de som direto, primeiras reflexões e som reverberante.

Fonte: HENRIQUE, Luís - *Acústica Musical*, p.787.

Também na figura apresentada acima, é possível concluir que o som direto ajuda a determinar a direção da fonte sonora. Quanto mais perto se estiver da fonte, melhor se ouvirá o som direto, enquanto se a localização do ouvinte for mais distante, predominará a audição de som reverberante.<sup>115</sup> Todavia, e apesar do som direto e as suas primeiras reflexões serem essenciais para o mecanismo de localização por parte do sistema auditivo, o som reverberante não modifica a perceção do som (no que trata à localização da fonte), sendo este fenómeno denominado por efeito de precedência.<sup>116</sup> É graças a este fenómeno que a audição do ouvinte pode ser diferente no mesmo espaço, uma vez que “a posição na sala pode originar diferenças substanciais na perceção auditiva”.<sup>117</sup>

Relativamente à perceção do espaço sonoro, é importante realçar que o ouvido humano tem a capacidade de captar sons vindos de todas direções, capacidade que, por exemplo, não é possível à visão humana, que se restringe a um determinado ângulo.<sup>118</sup> Porém, a capacidade auditiva possui características direcionais, significando portanto que a sensibilidade e captação das ondas sonoras variam de acordo com a direção de que provém.<sup>119</sup> A perceção de direção é descodificada pelo cérebro, que consegue apreender a incidência do som e a diferença de percurso das ondas até aos dois ouvidos.<sup>120</sup>

<sup>113</sup> HENRIQUE, Luís L. – Op. Cit., p. 770.

<sup>114</sup> **Acoustics of Enclosed Spaces: Architectural Acoustics.** In Arau Acustica. p. 245.

<sup>115</sup> HENRIQUE, Luís L. – Op. Cit., p. 786.

<sup>116</sup> Ibid, p. 788.

<sup>117</sup> Ibid, p. 760.

<sup>118</sup> Ibid, p. 880.

<sup>119</sup> Ibid, p. 881.

<sup>120</sup> HENRIQUE, Luís L. – Op. Cit., p. 881.

O tempo de reverberação, que já foi mencionado anteriormente, é um dos fatores estudados para melhorar a acústica de salas. Este deverá também ser analisado para cada caso em particular, uma vez que este deve adequar-se à função da sala (se foi desenhada com a finalidade de serem dados concertos ou em ações em que a inteligibilidade da fala é indispensável). Tal como a função, também o tamanho e a forma da sala são fatores a ter em conta.<sup>121</sup>

É possível manipular o tempo de reverberação de uma sala através da aplicação de equipamentos ou materiais que se adequem de melhor forma à função do espaço. Assim, a aplicação de materiais mais porosos ou mais refletores como revestimento da sala farão com que ela seja menos ou mais reverberante. Para determinar quais os materiais mais adequados a cada uma das situações devem analisados os respetivos coeficientes de absorção para cada frequência específica (cuja análise será aprofundada no tópico seguinte). Esta redução na reverberação através da aplicação deste tipo de materiais tende a reduzir o nível de ruído ambiente gerados por diversas fontes sonoras indesejáveis.<sup>122</sup>

---

<sup>121</sup> FERREIRA, Mácio R. – Op. Cit., p. 10.

<sup>122</sup> **Acoustics of Enclosed Spaces: Architectural Acoustics.** In Arau Acustica. p. 247.



## 10. Estudo de materiais

Após toda a investigação relacionada com a acústica que se desenvolveu, pode concluir-se desde já que os materiais são um importante fator na melhoria da acústica de espaços. Estes devem ser adequados de acordo com as necessidades acústicas de espaços para que sejam concretizadas as interações desejadas com as superfícies existentes na sala intervencionada.

Para o desenvolvimento de projeto, é importante conhecer as propriedades das várias classes de materiais, assim como a sua reação à receção de ondas sonoras. Os materiais são divididos em grupos, que são catalogados de acordo com as suas propriedades, estrutura ou composição (e que serão discriminados em seguida). Relativamente à propriedade dos materiais quando expostos a uma onda sonora, estes podem possuir a propriedade de absorverem a energia incidente e transformá-la em energia térmica. A conversão de energia sonora em térmica resulta do atrito obtido da passagem através do material, se este tiver uma porosidade considerável. A energia pode também ser absorvida “pela deformação de lâminas ou painéis”, em que “a energia sonora é transformada em energia mecânica e só depois em energia térmica”.<sup>123</sup> Esta transmissão de energia é determinada pelo seu coeficiente de absorção que é, no fundo, a relação entre a quantidade de energia sonora que incide no material e aquela que é absorvida pelo mesmo. O coeficiente de absorção de um determinado material varia entre 0 (se toda a energia é refletida) e 1 (se toda a energia é absorvida), em que a unidade de medida denomina-se como sabine.<sup>124</sup>

Para exercer de melhor forma a sua profissão, o designer deve ter alguns conhecimentos básicos relacionados com tecnologia e engenharia dos materiais para tomar as melhores decisões respeitantes ao material a utilizar em cada necessidade específica. De forma a compreender melhor as propriedades dos materiais, aborda-se seguidamente um estudo mais detalhado de cada uma das classes de materiais e respetivos coeficientes de absorção.

### 10.1. Materiais metálicos

Os materiais metálicos são substâncias inorgânicas compostas por um ou mais elementos metálicos. Estes podem, no entanto, conter na sua composição elementos não metálicos, como carbono ou nitrogénio. A sua estrutura é cristalina, o que significa que os átomos que a constituem dispõem-se de forma regular. Por estas

---

<sup>123</sup> DOMINGUES, Odete – Op. Cit., p. 17.

<sup>124</sup> PORTELA, Marcelo – **Materiais Acústicos: Conceitos para Acústica Arquitetónica**. pp. 5-6.

razões, os metais têm boa condutibilidade térmica e elétrica (capacidade de se deixarem atravessar pelo calor e pela eletricidade), elevada resistência mecânica (mas deformáveis plasticamente) e são opacos à luz (uma ótima refletora de luz se for polida). Cada tipo de metal possui também outras propriedades, e estes deverão ser escolhidos de acordo com a finalidade do mesmo. Algumas destas propriedades são a dilatabilidade (característica que determina a variação dimensional dos metais por exposição ao calor), dureza (capacidade que um metal oferece ao ser riscado por outro), tenacidade (propriedade que apresentam ao resistir a forças de tração, compressão ou flexão) ou fusibilidade (característica que delimita a temperatura de passagem de um metal do estado sólido para o estado líquido), entre outras.

Nesta categoria inserem-se não só os metais puros (como o ferro, o cobre ou o titânio), mas também as ligas metálicas (que consistem na junção de dois ou mais metais, ou de metais e não-metais) ferrosas (por exemplo, aço) ou não-ferrosas (como o bronze). Ao serem feitas as uniões destes metais melhoram-se algumas das propriedades dos metais, como leveza, resistência à corrosão ou ao calor, e melhoria das propriedades magnéticas e elétricas, entre outras.

Os materiais metálicos, pelas suas propriedades (nomeadamente a sua capacidade de reflexão), não são utilizados como materiais absorventes de ondas sonoras. Principalmente por esta razão, não existem estudos aprofundados no que trata os coeficientes de absorção dos metais e das suas ligas. Porventura, recorre-se à chapa metálica perfurada para isolamento sonoro, sempre aplicada em conjunto com outros materiais de elevada absorção sonora, como é o caso da lã de rocha ou da lã de vidro.

## 10.2. Materiais poliméricos

Um material polimérico é um material resultante de reações químicas de polimerização, devido à elevada massa molecular (ou seja, formado por muitas partes) que o constitui. As propriedades que se destacam nos materiais desta natureza são a má condutibilidade elétrica e térmica (sendo, portanto, um bom isolante), leveza, e pouca resistência mecânica e a altas temperaturas.

Os polímeros dividem-se em dois grupos, sintéticos e naturais. Na primeira categoria encontram-se três tipologias de polímeros. Os termoplásticos são polímeros plásticos que se caracterizam pela sua necessidade de serem aquecidos para lhes serem conferidas as formas pretendidas através de moldes. Estes são também recicláveis, mas apenas se não forem misturados com outros plásticos que se fundam a diferentes temperaturas. Os termoendurecíveis, que se caracterizam por não serem recicláveis, uma vez que são enformados para uma forma permanente e que são endurecidos posteriormente. São também obtidos através da fusão ou reação de dois ou mais componentes, perdendo com a sua forma final as suas capacidades plásticas. Os elastómeros, muitas vezes inseridos nos termoendurecíveis, caracterizam-se pela

sua elevada flexibilidade e por não entrarem em processo de fusão com a temperatura. Na segunda categoria encontram-se as proteínas e os polissacarídeos.

Pelas grandes diferenças na sua constituição, os materiais poliméricos têm propriedades distintas de acordo com o grupo em que se inserem. Os derivados da polimerização do etileno (como o polietileno ou o polipropileno) caracterizam-se, por exemplo, pela sua insolubilidade na água, boa estabilidade química e bom isolamento térmico. No entanto, estes são sensíveis ao oxigénio e aos raios ultravioleta. Já os derivados do estireno (poliestireno e poliacrílico) são considerados bons na sua estabilidade dimensional e resistência ao choque, sendo contudo relativamente frágil se não for modificado. Os polímeros derivados da amida (as poliamidas, de que é exemplo o nylon) possuem boa resistência química e bom isolamento elétrico e boa resistência térmica. Porém, a sua produção é complexa. Os derivados do éster (como é o caso dos poliésteres e dos policarbonatos) possuem boas propriedades elétricas e químicas. A resina fenólica, polímero derivado do fenol, caracteriza-se pela estabilidade química, boas propriedades mecânicas e elevada resistência à temperatura. Quanto aos silicones, estes possuem uma excelente estabilidade térmica, inércia química e resistência à oxidação. Estes são alguns exemplos de como, consoante os componentes, as propriedades dos polímeros se enquadram melhor ou pior a certos critérios e cabe ao designer restringir as suas escolhas aos polímeros que melhor respondam de forma positiva ao problema. Um importante fator que poderá levar à ponderação da utilização de um polímero neste projeto é o facto de algumas destas serem recicláveis (total ou parcialmente). Será o coeficiente de absorção que determinará se os problemas da acústica de salas podem ser resolvidos recorrendo a estes materiais.

Relativamente aos coeficientes dos polímeros, estes variam de acordo com a constituição do material e, principalmente, com as suas características físicas (como a constituição, densidade e porosidade do material). Como se pode constatar na tabela que se apresenta seguidamente, alguns polímeros estudados têm propriedades de absorção acústica consideráveis, principalmente no que se refere a frequências mais elevadas. Outros materiais que se inserem nesta categoria devem ainda ser explorados, uma vez que muitos destes ainda não foram estudados no campo da acústica e não foi totalmente explorada a sua potencialidade nesta área.

**Tabela 1** – Coeficientes de absorção de alguns materiais poliméricos.Fonte: KEFFORD, V.L. - **Plastics in Thermal and Acoustic Building Insulation - Report 67.**

Material	Frequência (Hz)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Espuma de poliamida (densidade 6,4kg/m <sup>3</sup> )	0,30	0,49	0,89	0,97	0,84	0,88
Resina de Melamina (25mm)	0,05	0,1	0,6	0,8	0,87	0,9
Poliuretano flexível (25mm)	0,11	0,26	0,48	0,61	0,78	0,85
Policloreto de Vinilo flexível (25mm)	0,08	0,21	0,32	0,5	0,7	--

### 10.3. Materiais cerâmicos

Um material cerâmico designa-se por um material inorgânico, formado por elementos ligados entre si quimicamente por ligações iónicas e/ou covalentes. A composição dos materiais cerâmicos pode ser muito diversificada, fazendo variar as suas propriedades.

Os materiais cerâmicos dividem-se em dois grupos principais: os cerâmicos tradicionais, que são obtidos com base em três componentes (argila, sílica e feldspato); e os cerâmicos técnicos, que são constituídos por compostos quase puros (como óxido de alumínio ou carboneto de silício).

Quanto às propriedades destes materiais, estas variam muito de acordo com as ligações químicas que os compõem. Contudo, são na sua maioria características a sua durabilidade e resistência a altas temperaturas, a sua fragilidade e a sua estabilidade química. São também bons isolantes térmicos, eléctricos e resistentes ao desgaste. Outra característica que define este material é a sua plasticidade, ou seja, a propriedade que determina a mudança de forma por aplicação de uma força exterior (antes da sua cozedura).

Um material que se insere nesta categoria mas com algumas propriedades distintas é o vidro. Transparente, com elevada dureza e resistência à corrosão são algumas das mais importantes características deste material, usado de forma bastante recorrente na arquitetura, design e engenharia. É importante realçar que o vidro possui dois derivados que se podem apresentar como materiais com potencial para o desenvolvimento deste projeto. Um deles é a lã de vidro, que é utilizado recorrentemente como um isolante térmico e acústico na construção de edifícios. É

leve, não inflamável e durável. O outro é a fibra de vidro, mencionada no capítulo referente aos materiais compósitos.

Relativamente aos coeficientes de absorção dos materiais cerâmicos, estes são variáveis de acordo com as propriedades específicas de cada material. No entanto, pode afirmar-se que, no geral, os materiais cerâmicos têm valores baixos de absorção sonora (como se pode constatar na tabela seguinte).

**Tabela 2** – Coeficientes de absorção de alguns materiais cerâmicos.

Fontes: [http://www.acousticalsurfaces.com/acoustic\\_IOI/101\\_13.htm](http://www.acousticalsurfaces.com/acoustic_IOI/101_13.htm) |  
<http://www.wsdg.com/dynamic.asp?id=resources/technology/absorbtion>

Material	Frequência (Hz)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Tijolo (não vidrado)	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Mosaico	0,01	0,01	0,015	0,02	0,02	0,02
Azulejo (ou mármore)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Vidro (janela)	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04

## 10.4. Materiais compósitos

Os materiais compósitos denominam-se por aqueles que são constituídos por dois ou mais componentes com diferentes propriedades físicas e químicas que, após a sua combinação, originam um material com maior potencialidade nas suas propriedades.

A utilização de materiais compósitos é bastante benéfica, uma vez que resulta da combinação de materiais distintos e que conseguem responder, de melhor forma, às propriedades necessárias para um caso específico. Esta é a principal razão que levou ao crescimento do número de materiais compósitos e exploração destes para obtenção de melhores resultados na engenharia, arquitetura e design.<sup>125</sup>

Existem diversos materiais que pertencem à família dos compósitos, que se divide em três categorias: compósitos poliméricos, compósitos cerâmicos e compósitos metálicos<sup>126</sup>. Os materiais mais relevantes são apresentados seguidamente, destacando as suas principais valias.

São compósitos de matriz polimérica aqueles que contêm na sua constituição base um polímero. Integram esta categoria as fibras, muito importantes na constituição de estruturas de elevada resistência. Dessas é exemplo a fibra de vidro com resina de poliéster, um compósito com fibras de vidro orientadas ou aleatórias e que se destaca pelas suas propriedades de resistência à tração, flexão e compressão e pela sua

<sup>125</sup> **Fibra de Vidro.** In Janelas Boavista.

<sup>126</sup> CALVETE, Marcelo - V. Os materiais compósitos e os seus processos transformativos. [Projeção visual].

leveza. Também se destaca por ser um material não condutor de energia elétrica, não enferruja e é resistente a ambientes agressivos comparativamente a outros materiais. Outras características são a estabilidade dimensional elevada e não ser frágil a baixas temperaturas.<sup>127</sup> A orientação dos feixes que constituem as fibras de vidro e a sua combinação com resinas de poliéster permitem um aumento da potencialidade das suas utilizações. Relativamente aos coeficientes de absorção da fibra de vidro, constata-se que esta absorve as várias frequências sonoras com razoável eficácia, sendo bastante eficaz na absorção das frequências mais altas (conforme apresentado na tabela abaixo).

**Tabela 3** – Coeficientes de absorção de alguns materiais compósitos - fibra de vidro.

Fonte: [http://www.acousticalsurfaces.com/acoustic\\_IOI/101\\_13.htm](http://www.acousticalsurfaces.com/acoustic_IOI/101_13.htm)

Material	Frequência (Hz)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Fibra de Vidro (rolo, espessura de 5cm)	0,17	0,55	0,80	0,90	0,85	0,80
Fibra de Vidro (spray, espessura de 2,5cm)	0,16	0,45	0,70	0,90	0,90	0,85

A utilização da fibra de carbono com outros materiais deve-se, na grande maioria dos casos, na possibilidade que esta permite na obtenção de soluções leves, elevada resistência mecânica e rigidez. Dado o seu elevado custo, a sua utilização restringe-se normalmente ao ramo automóvel, sendo o seu desempenho melhorado quando a utilização da fibra de carbono é combinada com resina epoxídica. Já a fibra de aramido é utilizada devido às suas propriedades de baixa densidade, elevada resistência mecânica, resistência à detioração e à fadiga, é utilizada na conceção de cordas, cabos e proteção balística.

Um composto de matriz cerâmica é aquele cuja base é um material cerâmico. Caracterizam-se pela elevada resistência a altas temperaturas, são inertes quimicamente e têm uma boa resistência à erosão. Exemplo deste tipo de material e que é utilizado recorrentemente é o betão. Denominado como compósito cerâmico, este consiste na combinação de um material granulado (denominado agregado), brita e grãos de areia unidos através de um ligante (normalmente recorre-se ao cimento). É a escolha do agregado utilizado que determinará as características do betão. Caracteriza-se por possuir uma resistência mecânica e capacidade de resistência à compressão. Para superar a fraca resistência à tração que caracteriza este material, o betão é reforçado com varões de aço (betão armado).

Também é nesta vertente que se insere o painel VIROC®, composto por uma mistura de madeira (sob a forma de partículas) e cimento, que é condensado e seco. Pela sua constituição, permite a sua utilização nas áreas da arquitetura e engenharia

<sup>127</sup> Ibid.

de forma funcional e versátil. A sua mais-valia deriva da combinação entre a resistência e flexibilidade que caracterizam a madeira com a durabilidade e rigidez do cimento. A congregação de ambos origina um material de elevada resistência ao impacto, às variações térmicas (tanto ao fogo como à humidade), assim como se trata de um bom isolante acústico.<sup>128</sup>

É considerado um composto de matriz metálica aquele cuja base é um material metálico. Estes são utilizados de forma mais reduzida devido ao difícil processamento dos materiais que levam a que seja, para além de mais difícil de trabalhar, mais elevado o seu custo.

Os materiais compósitos, pela variedade de materiais que o constituem, não possuem as mesmas propriedades acústicas. Como materiais compósitos com elevados valores de coeficientes sonoros encontram-se as lãs minerais. Estas, pela sua composição e pelas suas superfícies texturadas, potenciam a absorção de energia sonora. As lãs de rocha e de vidro integram, portanto, a categoria de materiais texturados que se caracterizam pela absorção das altas frequências (superiores a 1000hz). A título de exemplo, apresentam-se alguns coeficientes de absorção de mantas flexíveis.<sup>129</sup>

**Tabela 4** – Coeficientes de absorção de alguns materiais compósitos - lãs de vidro e de rocha.

Fonte: DOMINGUES, Odete - *A Acústica de Edifícios - Materiais e Sistemas absorventes sonoros: Coeficientes de absorção sonora*, p.68-72.

Material	Frequência (Hz)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Manta de lã de vidro, densidade 10kg/m <sup>3</sup> (25mm)	0,12	0,31	0,56	0,73	0,83	0,88
Manta de lã de vidro, densidade 15kg/m <sup>3</sup> (25mm)	0,12	0,57	0,60	0,73	0,86	0,93
Manta de lã de vidro, densidade 25kg/m <sup>3</sup> (40mm)	0,21	0,35	0,66	0,81	0,89	0,95
Mantas de lã de rocha sobre folha metálica perfurada, com massa volúmica 30kg/m <sup>3</sup> (25mm)	0,13	0,32	0,59	0,83	0,99	0,97

<sup>128</sup> **Dossier Técnico Viroc**. In Viroc.

<sup>129</sup> DOMINGUES, Odete - Op. Cit., pp. 26-27.

Já o betão, composto de matriz cerâmica, apresenta-se como um material cuja propriedade de absorção sonora é diminuta, com coeficientes de absorção inferiores a 0,15 si nas gamas de frequência estudadas.

**Tabela 5** – Coeficientes de absorção de alguns materiais compostos - betão.

Fonte: DOMINGUES, Odete - *A Acústica de Edifícios - Materiais e Sistemas absorventes sonoros: Coeficientes de absorção sonora*, p.81.

Material	Frequência (Hz)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Betão afagado, não pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05
Betão afagado, regularizado ou pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Betão com superfície irregular	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Betão armado, revestido com tacos de madeira	0,02	0,04	0,05	0,04	0,10	0,05
Betão armado, revestido a ladrilhos cerâmicos	--	0,01	0,02	0,03	0,04	--
Betão armado, revestido a linóleo sobre feltro	--	0,08	0,09	0,10	0,12	--
Betão armado, revestido por ladrilhos vinílicos	--	0,03	0,04	0,04	0,03	--
Betão armado, revestido com tábuas de soalho sobre barrotes de madeira	0,15	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10
Blocos de betão, em tosco	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25

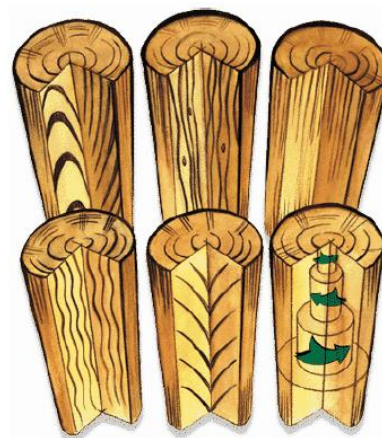
## 10.5. Madeira e derivados

A madeira é um material de origem natural, designa-se pelo conjunto de tecidos lenhosos que resultam do crescimento em diâmetro do caule da árvore de que é retirada. É um material que se caracteriza pela sua versatilidade, facilidade de transformação e resistência. No entanto, as suas propriedades diferem de acordo com a árvore de que é proveniente. A madeira é constituída por fibras de celulose e hemicelulose, aglutinadas através da lenhina (responsável por conferir rigidez e dureza às fibras).

O aproveitamento e utilização da madeira são feitos a partir de plantas que possuam as dimensões apropriadas para retirar uma quantidade considerável de material. Esta parte útil das árvores que é aproveitada denomina-se de lenho e está dividida em duas zonas, o borne e o cerne. Através do corte transversal de um tronco

de árvore, constata-se que o borne é a madeira mais clara e mais próxima da casca, por onde é feito o transporte da seiva para os restantes caules e folhas. Assim, o borne é uma madeira menos resistente, não só mecanicamente como também às pragas. Já o cerne consiste nas células mortas, que já não transportam seiva, e situa-se no centro do tronco. O cerne serve assim de sustentação a toda a planta, tendo a sua madeira uma maior resistência mecânica, densidade, durabilidade e uma coloração mais escura. Desta forma, a madeira do cerne é a de maior qualidade e mais utilizada, enquanto a madeira do borne apresenta uma menor resistência, embora a sua utilização também seja frequente (pela viabilidade económica associada).

Outra importante característica a considerar é o fato de ser possível obter diversos padrões na madeira de acordo com a forma como é feito o corte do tronco da árvore. Esta variação de padrões não ocorre exclusivamente devido ao corte, mas também de acordo com a forma que é feito o crescimento das próprias fibras da madeira. (ilustração 2) É importante ter em conta que não é apenas a aparência visual que é alterada com os diferentes cortes e crescimentos das fibras. Também as propriedades do material (nomeadamente no que trata à sua resistência mecânica) se vão alterar de acordo com estas alterações.



**Ilustração 2** – Variação do crescimento das fibras da madeira.

Fonte: ANTUNES, Nelson - Madeiras [Projeção visual].

Os nós existentes na madeira são outro fator que pode alterar a performance das propriedades desta. Estes derivam do cruzamento das fibras da madeira do tronco com as fibras dos ramos vivos (originam nós saudáveis) ou mortos (originam nós mortos que se soltam com facilidade). Assim sendo, a localização dos nós é determinante na sua interferência nas características mecânicas, pois é esta que ditará se a alteração provocada nas fibras fará com que a madeira perca a resistência.

A água é também um fator importante a considerar. Sendo um constituinte da madeira, que permite o crescimento da árvore durante o seu percurso em vida. Desta forma, a madeira continua a possuir a higroscopicidade enquanto material. Essa sua capacidade traz algumas consequências à sua utilização, como é o caso de alguns empenamentos e fendas que surgem, fruto das retrações que sucedem após a secagem da madeira. Assim, se a madeira estiver exposta a um ambiente em que haja alterações da humidade do ar, maior será a probabilidade de surgirem estes problemas.

As madeiras apresentam-se igualmente sob a forma de diversos derivados, que aproveitam os desperdícios de material, assim como potenciam algumas das suas capacidades.

O contraplacado é um painel constituído por lâminas de madeira, coladas com os veios das lâminas que se sucedem perpendicularmente e em número ímpar. Este derivado tem, pela forma como é constituído, uma elevada resistência mecânica, durável, de fácil manuseio e com possibilidades de acabamento com grande qualidade. Também derivada à forma como é constituído, o contraplacado tem uma variação de volume com a humidade baixa, de forma a que não sofre de empenos e outras anomalias associadas à higroscopicidade.

Uma das formas mais recorrentes para o aproveitamento dos desperdícios da madeira é através da constituição de painéis de partículas de madeira, cujas denominações e propriedades se apresentam seguidamente. O aglomerado de partículas é o painel resultante das que derivam da serração e que são reduzidos a aparas prensadas a elevadas temperaturas e aglutinadas com resina de ureia-formaldeído. Caracteriza o aglomerado uma boa estabilidade dimensional quando exposto à humidade (embora esta lhe cause alguns danos), sendo, no entanto, pouco resistente e devendo ser revestido por um acabamento.

O MDF segue a mesma filosofia do aglomerado, sendo no entanto unidas partículas que foram reduzidas a uma dimensão menor (fibra). As fibras são então misturadas com resinas de ureia-formaldeído e sujeitas a prensagem a altas temperaturas. Difere no aglomerado e é um bom substituto deste, uma vez que é mais resistente, homogéneo e mais fácil de trabalhar que este. Pode também ser revestido com diversos acabamentos. Pelas razões referidas, o MDF é utilizado frequentemente na conceção de mobiliário. A expansão do MDF faz-se através do aparecimento de algumas variantes com características especiais, como moldável, resistência ao fogo ou hidrófugo.

De aspeto semelhante ao MDF, as placas de Hardboard resultam da compressão de fibras (como o MDF), mas são submetidas a elevadas temperaturas e forças de compressão de forma a evaporar a água e unir as fibras. A aglutinação das placas de Hardboard é feita, na sua maioria, através das resinas naturais existentes nas fibras. Tal como o Hardboard, existe também o Softboard, constituído através da filtragem e secagem das fibras de madeira não tratada. O Softboard tem como característica principal a capacidade de isolamento (hidrófugo, térmico e acústico).

Semelhante aos anteriores, o OSB consiste num painel resultante da aglomeração de aparas de madeira orientadas de forma perpendicular entre camadas, conferindo-lhe uma elevada resistência à flexão. Tal como os outros aglomerados, são-lhes adicionadas resinas e prensadas a altas temperaturas. Caracterizam-se por uma boa resistência mecânica e fáceis de trabalhar.

Os lamelados colados são obtidos através da colagem de tábuas de madeira, podendo com estas obter estruturas de grande vão. As peças são construídas através da sobreposição das tábuas que as constituem e são coladas nas faces. Para a união de lamelas, é feito um encaixe múltiplo que garante a resistência da estrutura. Os lamelados apresentam vantagens comparativamente à utilização de madeira maciça,

nomeadamente devido à possibilidade de redução dos defeitos da madeira (como nós) e uma maior estabilidade dimensional.

Os acabamentos dados aos derivados são diversos e conferem a este uma maior durabilidade e alterações no aspeto final das peças. Um deles é a folha de madeira, obtida através do corte de finas camadas do tronco. Tal como no corte feito na madeira, a forma como é feito o corte interfere diretamente na textura resultante. A utilização destas folhas é habitual como revestimento de outros derivados da madeira, como aglomerados e MDF, de forma a dar um acabamento específico a esses derivados. Outros acabamentos comuns é a aplicação de camadas de papel kraft impregnadas com resinas melamínicas ou fenólicas e prensadas a altas temperaturas, obtendo-se desta forma os painéis revestidos a melamina, papel fenólico ou termolaminados. Estes acabamentos conferem uma elevada durabilidade e resistência aos painéis de derivados, assim como permite uma multiplicidade de cores e texturas. Outro acabamento usual nos painéis de MDF é o lacado, conseguido através da aplicação de resinas de poliéster em pó e aquecendo os painéis através de lâmpadas de infravermelhos, derretendo o pó e transformando-o numa camada uniforme. O Post-forming possui características técnicas que permitem melhores resultados ao ser trabalhado. Usado normalmente em mobiliário de cozinha e casa de banho, o Post-forming é resistente ao desgaste, ao impacto e ao calor. Outra característica que o distingue é o facto de poder ser curvado ao ser aquecido.

A aplicação das madeiras como potencial tratamento acústico relaciona-se com a forma como é feita a sua utilização. As madeiras são constituintes utilizadas em ressoadores que absorvem a energia sonora das médias frequências (denominados por ressoadores de Helmholtz, mencionados anteriormente), assim como são utilizadas nas membranas ressoantes (constituídas por painéis de contraplacado que criam caixas de ar) utilizadas para absorção de baixas frequências.<sup>130</sup>

Para o cálculo da reverberação de um espaço interior, a madeira não é considerada de acordo com a árvore de que provém, mas sim pela forma da sua aplicação. Desta forma, obtêm-se coeficientes de absorção diferentes se a aplicação for em viga, parquet ou placa (consoante a tabela seguinte).

---

<sup>130</sup> DOMINGUES, Odete – Op. Cit., pp. 34-36.

**Tabela 6** – Coeficientes de absorção de madeiras.

Fontes: [http://www.acousticalsurfaces.com/acoustic\\_IOI/101\\_13.htm](http://www.acousticalsurfaces.com/acoustic_IOI/101_13.htm) |  
<http://www.wsdg.com/dynamic.asp?id=resources/technology/absorbtion>

Material	Frequência (Hz)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Vigas de madeira	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Parquet (aplicado sobre cimento)	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Madeira	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Contraplacado (6mm)	0,58	0,22	0,07	0,04	0,03	0,07
Contraplacado (10mm)	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11

Contudo, as madeiras são um recurso utilizado na absorção de algumas frequências. Quando combinadas com outros materiais, como lã de rocha ou cimento, obtêm bons resultados na absorção de algumas baixas e altas frequências (tabela 7).

**Tabela 7** – Coeficientes de absorção de madeiras - madeira combinada com outros materiais.

Fonte: DOMINGUES, Odete - *A Acústica de Edifícios - Materiais e Sistemas absorventes sonoros: Coeficientes de absorção sonora*, p.79-80.

Material	Frequência (Hz)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Placas de contraplacado de madeira, confinando caixa de ar preenchida com lã de rocha (13mm)	0,25	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
Placas compostas de contraplacado de madeira, com 5,5% de perfuração e caixa de ar preenchida com lã de rocha (13mm)	0,47	0,94	0,60	0,35	0,25	0,19
Placas compostas de contraplacado de madeira, com 16,5% de perfuração e caixa de ar preenchida com lã de rocha (13mm)	0,35	0,86	0,86	0,64	0,50	0,39
Placas de aglomerado de madeira, com frestas encobertas de 15mm de largura e caixa de ar preenchida com lã de rocha (38mm)	0,42	0,36	0,32	0,24	0,37	0,34
Placas de régua de	0,22	0,35	0,35	0,42	0,68	0,38

madeira, com frestas encobertas de 6,5mm de largura e tardo coberto com cartão canelado (20mm)						
Fibras de madeira aglomeradas com cimento (38mm)	0,09	0,21	0,42	1,00	0,58	0,80
Fibras de madeira aglomeradas com cimento (64mm)	0,15	0,32	0,78	0,85	0,73	0,88

## 10.6. Cortiça e derivados

A cortiça é uma matéria-prima de origem vegetal, proveniente da extração da casca do sobreiro, de que Portugal é o maior exportador do mundo. Pelas suas propriedades e carácter ecológico, a cortiça tem sido um material que é cada vez mais explorado.

O processo de extração não interfere no tempo de vida do sobreiro, cuja duração mínima é de 200 anos. Pode iniciar-se o processo quando o sobreiro atinge os 25 anos de idade, sendo posteriormente extraída a sua casca de nove em nove anos.

Derivado da sua estrutura alveolar, a cortiça possui características físicas e mecânicas que levam a que seja um material cujo uso tem-se tornado mais vasto.

O seu principal componente, e que lhe dá as suas principais propriedades, é a suberina, uma mistura de ácidos orgânicos (composto responsável pela impermeabilidade da cortiça) a partir da qual são formadas as paredes das suas células, impedindo a passagem de água e de gases. As células que a constituem têm a forma de um prisma hexagonal ou pentagonal e estão preenchidas por uma mistura de gases equiparados ao ar, dando-lhe deste modo a leveza que caracteriza deste material. Outro importante componente é a lenhina, responsável pelas capacidades de isolamento térmico e acústico da cortiça. Os restantes componentes, que existem em menores quantidades, dão à cortiça a sua textura rugosa, a cor castanha escura por fora, e clara por dentro, são estes compostos que ao se interligar dão a grande durabilidade do material, assim, dependendo das quantidades existentes por placa, estas serão mais densas e resistentes, ou menos densas e mais arenosas. Também a sua resistência, principalmente quando exposta a grandes forças de compressão e ao atrito, a durabilidade e a combustão lenta são fatores que levam a recorrer a este material para os mais diversos fins.

A grande desvantagem da utilização deste produto centra-se no seu custo. De um modo geral, a cortiça é uma matéria-prima de custo relativamente elevado (devido à

sua produção estar dependente dos nove anos que são necessários entre extrações da casca do sobreiro).

A aplicação da cortiça é também feita através dos derivados decorrentes da transformação de desperdícios. O mais usual é o aglomerado de cortiça, que resulta da pré-preparação da sua matéria-prima, que é triturada e a que são retiradas as suas impurezas. Seguidamente é feito um tratamento de autoclave (que consiste na injeção de vapor de água a temperaturas superiores a 300°C). Após as fases de arrefecimento, são realizados os respetivos acabamentos (corte e lixagem da superfície). Tal como o material de origem, também o aglomerado mantém as suas propriedades de isolante térmico e acústico, assim como a recuperação da sua forma original num número infundável de vezes – ou elasticidade. As suas propriedades mantêm-se inalteradas com o tempo, o que dá a este material uma elevada qualidade.

O processo de transformação da cortiça em aglomerado é também sustentável, uma vez que neste não são produzidos quaisquer resíduos. Ao fabrico do aglomerado também não são acrescentados quaisquer tipos de colas e aglutinantes que não provenham diretamente da própria cortiça, não colocando em risco a saúde dos seus utilizadores.

Outro derivado é a lã de cortiça, que é utilizada no enchimento de colchões e almofadas, principalmente pelas suas propriedades de durabilidade, leveza e capacidade de recuperação à compressão.<sup>131</sup>

Os granulados, resultantes da trituração de sobras de cortiça, começam a substituir o jato de areia na limpeza de edifícios e monumentos exteriores, uma vez que o recurso a este material permite a limpeza sem danos nas edificações.<sup>132</sup>

Relativamente à absorção dos aglomerados de cortiça, apenas os aglomerados puros de cortiça são considerados bons absorventes sonoros. Tal como as fibras mencionadas anteriormente, a cortiça absorve de forma mais eficaz as altas frequências.<sup>133</sup> Apresenta-se abaixo, a tabela com os coeficientes de absorção da cortiça para as várias frequências. As espessuras são relevantes neste caso, uma vez que, como se pode analisar na tabela, diferentes espessuras de aglomerado absorvem de melhor forma diferentes frequências.

---

<sup>131</sup> **Dossier Info Cortiça – Design cork, for future, innovation and sustainability.** In Amorim. p. 18.

<sup>132</sup> Ibid. p. 19.

<sup>133</sup> DOMINGUES, Odete – Op. Cit., p. 30.

**Tabela 8** – Coeficientes de absorção de cortiça.

Fonte: DOMINGUES, Odete - **A Acústica de Edifícios - Materiais e Sistemas absorventes sonoros: Coeficientes de absorção sonora**, p.75.

Material	Frequência (Hz)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Placas de aglomerado de cortiça expandida (3mm)	0,01	0,01	0,03	0,04	0,15	0,28
Placas de aglomerado de cortiça expandida (20mm)	0,01	0,04	0,07	0,40	0,70	0,80
Placas de aglomerado de cortiça, com massa volúmica de 80 a 100kg/m <sup>3</sup> (25mm)	0,05	0,05	0,14	0,51	0,51	0,49
Placas de aglomerado de cortiça expandida (38mm)	0,04	0,13	0,44	0,76	0,43	0,55
Placas de aglomerado de cortiça expandida (40mm)	0,09	0,09	0,35	0,60	0,38	0,49

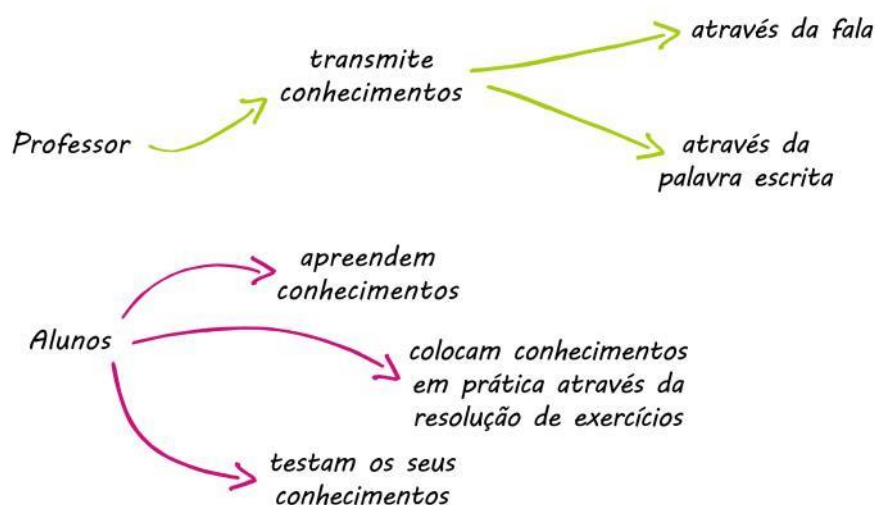


## 11. Levantamento e análise das necessidades do espaço

Para o desenvolvimento do projeto, é importante a análise do espaço a ser alvo de intervenção. Neste caso específico, foi necessário analisar várias salas de aula de estabelecimentos de ensino do segundo e terceiro ciclos de escolaridade. Desta análise, resultou a definição do programa de necessidades a considerar especificamente neste projeto.

O equipamento existente difere de acordo com as disciplinas lecionadas na mesma. No entanto, neste projeto será abordado o contexto das salas convencionais, que não exigem nenhum equipamento específico para uma matéria. Para facilitar o processo de análise de necessidades de uma sala de aula, procedeu-se à elaboração de um levantamento de ações executadas nas mesmas, esquematizado abaixo.

### *Análise das tarefas desenvolvidas na sala de aula*

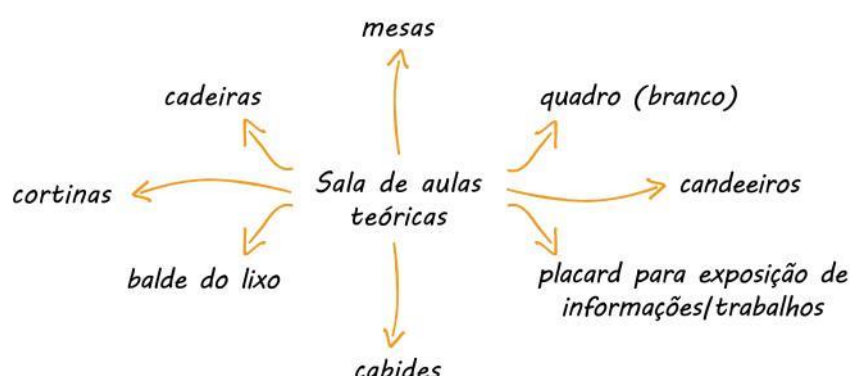


**Esquema 4** – Análise das tarefas desenvolvidas na sala de aula.

Fonte: autor.

Após a análise de diversas salas de aula que se enquadram nos parâmetros e do levantamento das ações normalmente executadas nas mesmas, foi possível averiguar quais os equipamentos existentes e necessários ao bom funcionamento de uma sala de aula, associados às atividades nela desenvolvidas. Estes apresentam-se em seguida.

### *Levantamento de equipamento de salas de aula*



**Esquema 5** – Equipamentos existentes numa sala de aula.

Fonte: autor.

Dos equipamentos que constam na listagem, considerou-se que as peças que poderão constar da linha de mobiliário seriam mesas, cadeiras, candeeiros e um armário. O candeeiro será trabalhando com uma incidência menor, uma vez que este se encontra, em muitos casos, embutido no teto (desta forma será apenas apresentada uma proposta para um novo tipo de candeeiro a implementar quando se optar pela não colocação de teto falso ou candeeiros embutidos no mesmo). Outros não podem sofrer alterações, como é o caso do quadro branco (cujo material se deve manter para que se possa escrever neste e que não se perca a função inicial). Existem ainda os equipamentos que, pelas suas dimensões e localização espacial na sala têm pouca interferência na alteração do tempo de reverberação da sala: o balde do lixo e o cabide.

Dado que se pretendeu fazer não apenas o design de equipamento do mobiliário acima referido, mas sim o tratamento da sala como um todo (projetando o design de interiores e equipamento da mesma), pretendeu-se adequar a utilização das cortinas e do placard informativo, que se empregaram de acordo com as necessidades de reverberação requeridas pelo espaço após a aplicação do mobiliário desenvolvido.

Seguidamente apresenta-se uma análise mais profunda à regulamentação existente tanto para os espaços dedicados a salas de aula como para o equipamento nela existente.

## 11.1. Análise da legislação existente relativa ao dimensionamento de salas de aula

Para garantir a elaboração de uma linha de equipamento adequada ao mercado, foi necessário tomar consciência da existência de regulamentação existente no que trata o dimensionamento de salas de aula em Portugal.

Inicialmente, recorreu-se à obra de Neufert para compreender se este assunto já tinha sido referenciado anteriormente e de que forma fora abordado. Segundo este autor, é referido que o espaço necessário para o funcionamento de uma sala de aula se rege pela superfície existente por aluno. Esta deve, conforme as normas gerais, possuir uma área de 1,5m<sup>2</sup> por aluno, e preferencialmente 2m<sup>2</sup> ou 6m<sup>3</sup>.<sup>134</sup> É igualmente mencionado que era considerado “como normal na Alemanha”, em 1976, que o pé-direito das salas deveria ser de 3,20m e a distância de intervalo entre mesas era de 0,50m. Refere-se ainda que, segundo as Normas de Hamburgo, é estabelecido como dimensão ideal para construção de salas de aula projetadas para 25 alunos com a superfície de 6,50m x 8,00m e pé-direito de 3,60m.<sup>135</sup>

Nesta altura, começava a ponderar-se a colocação de equipamentos móveis, em detrimento dos equipamentos fixos, até então utilizados de forma corrente. Neufert afirma, relativamente a esta questão, que “os móveis soltos, principalmente as cadeiras, permitem o agrupamento em todas as formas desejadas e facilitam a limpeza. Os gastos de manutenção são, porém, maiores, a ordenação mais difícil, ocupa-se maior espaço e provoca-se mais barulho, que com assentos fixos.”<sup>136</sup> O autor sugere ainda algumas tipologias de salas e possibilidades de posicionamento dos equipamentos, não só de salas de aula convencionais, como também salas de trabalhos manuais, de desenho, de música, para conferências, com diversos tipos de iluminação. São abordados ainda outros espaços funcionais, como oficinas, corredores, casas de banho e laboratórios de física e química.

Quanto à regulamentação existente, foi inicialmente encontrado e analisado um documento que se refere às construções executadas no âmbito do projeto Centro Escolar, um programa do Ministério da Educação que consiste na requalificação da rede de escolas do primeiro ciclo e ensino pré-escolar. Neste documento apresentam-se alguns referenciais técnicos a ter em conta, que complementam os requisitos técnicos (Despacho Conjunto n<sup>o</sup>258/97 e n<sup>o</sup>268/97). Apesar de não se enquadrar na faixa etária a trabalhar, foi feita uma análise para poder retirar desta algumas conclusões.

---

<sup>134</sup> NEUFERT, Ernst. – **Arte de projetar em arquitetura**. Tradução da 21<sup>a</sup> Edição Alemã. 5<sup>a</sup> Edição. São Paulo: Gustavo Gili, 1976, p. 213.

<sup>135</sup> Ibid, p. 214.

<sup>136</sup> Ibid, p. 213.

Relativamente ao dimensionamento de salas, documento referido indica que “a área da sala de aula é concebida para um grupo de 24 alunos no máximo, devendo este espaço ser organizado de forma a permitir o desenvolvimento da quase totalidade das atividades curriculares de uma turma.”<sup>137</sup> A sala de aula é definida como “o espaço de ensino onde têm lugar as diversas atividades diárias”. Predominam neste espaço as atividades em que é feito o trabalho sentado à mesa (individual ou de grupo), trabalho de pé (executado em mesa ou quadro) e algumas projeções.<sup>138</sup> Relativamente a medidas propriamente ditas, é dado o pé-direito de 3,20m e a área útil mínima de 48m<sup>2</sup>.<sup>139</sup>

Como exigências funcionais, é apontado que o bem-estar e aproveitamento escolar são condicionados pelos níveis de conforto do ambiente, em que é inserido o conforto acústico. Referente a esta problemática, o referencial assinala que “todas as salas de ensino, a sala de alunos, o refeitório e o átrio principal, devem ser dotados, pelo menos no teto, com revestimento de absorção acústica”.<sup>140</sup> Também na seleção de elementos construtivos e decorativos deve dar-se primazia aos que tiverem uma absorção acústica adequada.<sup>141</sup> Quanto aos materiais, são mencionados que os materiais de revestimento de pavimentos devem ser confortáveis, laváveis, resistentes ao impacto e ao desgaste, tal como possuem uma boa aderência. Já relativo ao revestimento das paredes e outros paramentos devem ser resistentes, laváveis e não abrasivos, não podendo, de forma alguma, apresentar arestas vivas abaixo do 1,8m contabilizados a partir do pavimento.<sup>142</sup>

Uma vez que a legislação analisada anteriormente não se destinava ao público-alvo em estudo, foi necessário contactar algumas entidades, entre elas o Secretário de Estado do Ensino Básico e Secundário e a Direção-Geral dos Estabelecimentos Escolares. Após este contato, foi confirmada que não existia legislação específica sobre o assunto, existindo para o efeito referenciais técnicos. Por parte da DGEstE, foi facultada alguma informação referente aos 2º e 3º ciclos do ensino básico, de que se destaca um despacho que menciona que “se verifica a inexistência de referenciais técnicos de suporte para a conceção/construção de escolas básicas dos 2º e 3º ciclos, contrariamente ao que sucede relativamente à educação pré-escolar e ao 1º ciclo do ensino básico, cujas regras se encontram devidamente estabelecidas”, originaram em 2009 a aprovação dos Referenciais Técnicos para Conceção/Construção de Escolas Básicas do 2º e 3º Ciclos.<sup>143</sup> Este referencial menciona, como já fora referido no referencial relativo aos estabelecimentos escolares de primeiro ciclo, que os

---

<sup>137</sup>PORTUGAL, Ministério da Educação – II – **Alguns referenciais técnicos para a construção /ampliação /requalificação de escolas na perspetiva do Centro Escolar**. In Programa Centro Escolar. Lisboa: Ministério da Educação, p. 4.

<sup>138</sup> Ibid, p. 19.

<sup>139</sup> Ibid.

<sup>140</sup> Ibid, p. 11.

<sup>141</sup> Ibid.

<sup>142</sup> Ibid, p. 13.

<sup>143</sup> Despacho conjunto n.º 08/RE/2009 de 11 de Agosto. **Referenciais técnicos para conceção/construção de escolas básicas (2º e 3º ciclos)**. Faro: Rede Escolar, p.1.

“materiais de revestimento de pavimentos devem ser confortáveis, laváveis, resistentes ao impacto e ao desgaste e com boa aderência”.<sup>144</sup> Nos revestimentos de paredes, a situação repete-se: devem “ser resistentes, laváveis e não abrasivos. Não podem apresentar arestas vivas abaixo de 1,80 m de altura a partir do pavimento.”<sup>145</sup> Quanto ao conforto acústico, “todos os espaços de ensino, (...), deverão ser dotados, pelo menos no teto, com revestimento de absorção acústica”.<sup>146</sup> A sala de aula é definida como “espaço destinado a atividades letivas, de várias disciplinas, para as quais não sejam exigidos equipamentos ou instalações específicas, designadamente, Língua Portuguesa, Línguas Estrangeiras, Matemática, História, Geografia e Educação Moral e Religiosa. A sala deve proporcionar condições para o desenvolvimento de atividades de natureza predominantemente teórica, bem como para o trabalho individual e em pequenos grupos. No decurso das atividades que aí têm lugar, deverão ser utilizados meios audiovisuais e tecnologias da informação e de comunicação”.<sup>147</sup> A área útil recomendada referenciada é de 50m<sup>2</sup>. Quanto aos equipamentos e mobiliário que devem existir neste tipo de salas, são apontados: como equipamento, “quadro para marcadores, expositores, ecrã para projeção, régua de cabides”; como mobiliário, “mesa e cadeira para professor, mesas duplas e cadeiras para alunos, mobiliário de apoio para meios informáticos e audiovisuais, armário para arrumo de material, recipientes para lixo e régua de cabides, a colocar junto à entrada da sala”.<sup>148</sup>

Foram contactados também alguns gabinetes de arquitetura que projetaram a construção/requalificação de escolas básicas e secundárias integradas no programa Parque Escolar, promovido pelo Ministério da Educação. Através deste contato, foi possível ter conhecimento da existência de uma série de documentos, entre os quais o “Manual de Projeto de Arquitetura”, no âmbito do programa Parque Escolar. Após a análise do mesmo, foi possível ter em conta algumas considerações relativamente a vários aspetos relacionados com o conceito das escolas da atualidade, assim como se sucede a reorganização e relação entre espaços funcionais numa escola secundária (ou de ensino básico agregado a uma escola secundária). No estudo à seção referente às salas de aula, foi possível averiguar que:

- A área recomendada para sala de aula normal é de 50m<sup>2</sup>;
- O pé direito mínimo para um espaço desta natureza deverá ser de 2,70m;
- As paredes devem ter acabamento em cores claras e impermeáveis;
- O teto deve ser tratado acusticamente;

---

<sup>144</sup> PORTUGAL, Ministério da Educação – **Referenciais técnicos para concepção/construção de Escolas Básicas (2º e 3º ciclos)**. Lisboa: Ministério da Educação, 2009. Referencial facultado pela Direção-Geral de Estabelecimentos Escolares, Direção de Serviços da Região Centro.

<sup>145</sup> Ibid.

<sup>146</sup> Ibid.

<sup>147</sup> Ibid.

<sup>148</sup> Ibid.

- As mesas devem ser individuais para permitirem a versatilidade na configuração adequada a cada disciplina ou escola;

- As configurações exemplificadas contemplam 24 lugares sentados para alunos + 1 para o professor.<sup>149</sup>

Desta forma, foi possível constatar que não existe nenhuma legislação que obrigue a um preciso dimensionamento de salas. De forma a colmatar essa falha, foram concebidos referenciais técnicos para os vários ciclos escolares que dão algumas indicações relativamente às áreas necessárias para o bom funcionamento dos estabelecimentos escolares em Portugal. Serão estes os dados a ter em conta no desenvolvimento do projeto, no que se refere às dimensões recomendadas para salas de aula. Em seguida, apresentar-se-ão os regulamentos existentes relativos ao mobiliário escolar propriamente dito.

## 11.2. Análise da regulamentação existente para equipamentos escolares

Para finalizar o processo de investigação inicial, que antecedeu a elaboração da fase exploratória da linha de mobiliário foi necessário ter em conta qual o dimensionamento do público-alvo do equipamento a desenvolver. Contudo, foi também essencial a investigação e análise da legislação que rege os equipamentos escolares atualmente.

Em primeiro lugar, foi necessário tomar consciência do dimensionamento do público-alvo a quem se destina o equipamento a executar. Uma vez que o equipamento procura abranger uma faixa etária específica (2º e 3º ciclos do ensino básico, equivalentes a crianças de idades compreendidas entre os 10 e os 15 anos), foi necessário analisar as diferenças de dimensões existentes.

Segundo Neufert (1976), que relatou as importantes investigações elaboradas na Alemanha sobre a estatura das crianças, tendo chegado assim a algumas dimensões não só alusivas à altura das crianças, como também dimensões recomendadas para alguns equipamentos destinados ao funcionamento dos espaços funcionais destinados à prática educacional. O autor esclarece também que, durante algum tempo foi usual a utilização de mobiliário fixo, mas que os novos métodos de ensino requeriam uma adaptação do equipamento escolar, dado que a utilização de equipamentos móveis “permitem o agrupamento em todas as formas desejadas e facilitam a limpeza”<sup>150</sup>, podendo ter algumas desvantagens no que trata a “gastos de manutenção maiores, ordenação mais difícil e provoca-se mais barulho”<sup>151</sup>. Refere

---

<sup>149</sup> **Manual de Projeto: Arquitetura.** In Parque Escolar, Programa de Modernização das Escolas do Ensino Secundário. Lisboa: Parque Escolar, 2009, pp. 52-55.

<sup>150</sup> NEUFERT, Ernst. – Op. Cit., p. 213.

<sup>151</sup> Ibid.

também que devia existir nas salas de aula cadeiras e mesas reguláveis ou de várias alturas, destinadas a responder ao conforto de crianças das mais diversas estaturas.<sup>152</sup>

As dimensões recomendadas, segundo Neufert, apresentam-se na tabela 9.

**Tabela 9** – Dimensões de mesas e cadeiras de acordo com faixas etárias específicas.

Fonte: NEUFERT, Ernst. - *Arte de projetar em arquitetura*, p. 212.

Idade em anos	10-12	12-14	14-16
Estatura	141cm-150cm	150cm-160cm	160cm-170cm
Altura do assento	46cm	46cm	48cm
Dimensões do assento	37cm x 40cm	40cm x 43cm	40cm x 43cm
Altura da mesa	74cm	76cm	78cm
Profundidade do tampo da mesa	55cm	55cm	60cm
Largura do tampo, para duas pessoas	120cm	120cm	120cm

Atualmente, a existência de equipamentos de diferentes alturas deixou de ser praticada, sendo em vez disso utilizada como referência a legislação e normalização em vigor. Através desta, é possível projetar para diferentes faixas etárias recorrendo a uma normalização dos espaços interiores.

A legislação em vigor para normalização do mobiliário e equipamentos escolares centra-se na norma europeia EN 1729, elaborada pelo CEN (Comité Europeu de Normalização) e que é aplicada nos países da Europa que integram esta organização (Áustria, Bélgica, Bulgária, Croácia, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estónia, Finlândia, República da Macedónia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Islândia, Irlanda, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Holanda, Noruega, Polónia, Portugal, Roménia, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia e Reino Unido). Em Portugal, a entidade que coordena e gere este tipo de regulamentação é o IPQ (Instituto Português de Qualidade), a quem foi necessário recorrer para ter acesso à norma analisada em seguida.

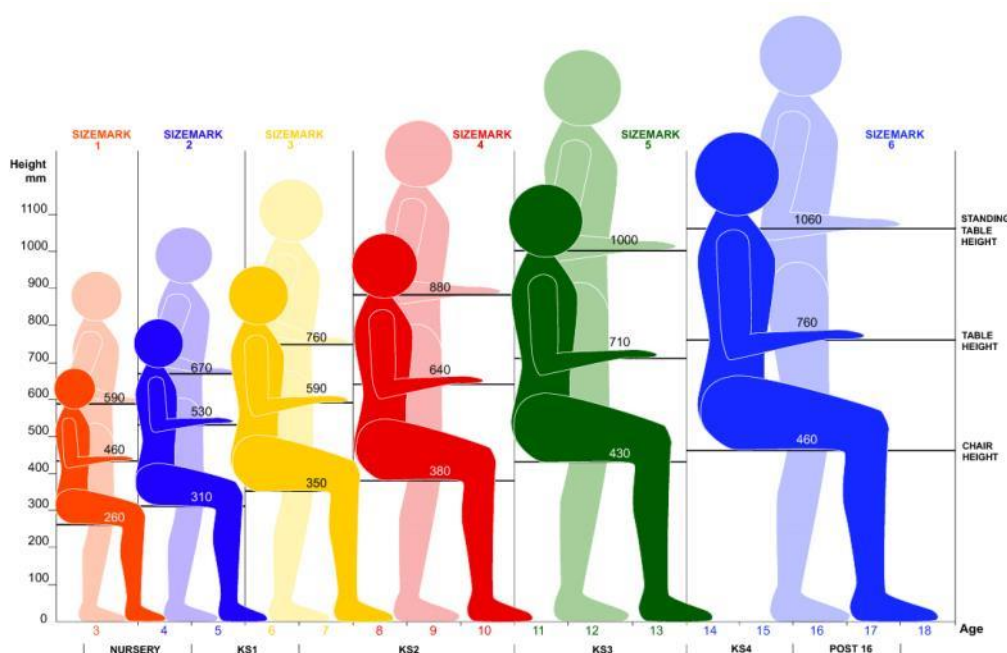
A norma divide-se em duas partes: a parte 1, que determina as dimensões funcionais de mesas e cadeiras para instituições educacionais; e a parte 2, que circunscreve dos requisitos de segurança e os testes.

A primeira parte da norma indica todas as dimensões necessárias para o bom desenvolvimento das mesas e cadeiras a utilizar numa instituição educacional. O

<sup>152</sup> Ibid, p. 212.

princípio em que se baseia esta norma é que estes equipamentos devem ser desenhados de forma a encorajar uma postura correta.<sup>153</sup>

Inicialmente, a norma indica onde devem ser feitas as medições dos vários requisitos, mencionando alguns termos e esquemas que facilitam o entendimento do regulamento. Posteriormente, a norma apresenta as dimensões necessárias à elaboração de vários tipos de cadeiras (cadeiras com encosto de inclinação única, cadeiras com encosto com dupla inclinação, cadeiras altas, bancos, cadeiras ajustáveis) e de mesas (mesas para uso sentado, mesas para uso de pé, mesas ajustáveis). Para uma correta consulta das dimensões, deve ter-se consciência do código de cores, idade e dimensões correspondentes, esquematizadas no esquema que se apresenta abaixo.



**Esquema 6** – Dimensões de referência adequadas a cada faixa etária, de acordo com a Norma Europeia 1729.

Fonte: <http://www.docstoc.com/docs/27806951/Furniture-BS-EN-1729-Chair-and-Table-Guide>.

Assim, e de acordo com o código de cores apresentado, constata-se que o público-alvo a quem se destina o equipamento, que se encontra nas idades entre os 10 e os 15 anos, corresponde às dimensões dos tamanhos 5 e 6 (a que correspondem as cores verde e azul do código mostrado). Contudo, a estatura abrangida pelo tamanho 5 (cor

<sup>153</sup> EN 1729-1. 2012. Furniture – Chairs and tables for educational institutions – Part 1: Functional dimensions. Lisboa: IPQ, p. 4.

verde) situa-se entre os 1460mm e os 1765mm, dimensões para que são desenhados os equipamentos escolares em Portugal.<sup>154</sup>

Desta forma, segundo a EN 1729-1, as dimensões funcionais para cadeiras de encosto de inclinação única destinadas ao utilizador do tamanho 5, são as indicadas na tabela 10:

**Tabela 10** – Dimensões de cadeiras para tamanho 5, de acordo com a Norma Europeia 1729.

Fonte: EN 1729-1. 2012. Furniture - Chairs and tables for educational institutions - Part 1: Functional dimensions.

Tamanho	5
Cor do código correspondente	Verde
Faixa de estatura	1460mm-1765mm
Altura do assento	430mm
Profundidade útil do assento	380mm
Largura mínima do assento	360mm
Altura mínima do encosto	100mm
Largura mínima do encosto	300mm
Inclinação do assento	-10° a 5°
Inclinação do encosto	95° a 110°

Para as mesas para uso sentado, as dimensões a considerar apresentam-se na tabela 11:

**Tabela 11** – Dimensões de mesas para tamanho 5, de acordo com a Norma Europeia 1729.

Fonte: EN 1729-1. 2012. Furniture - Chairs and tables for educational institutions - Part 1: Functional dimensions.

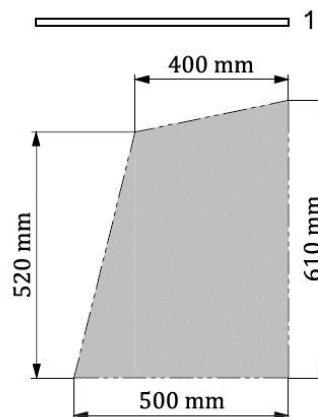
Tamanho	5
Cor do código correspondente	Verde
Faixa de estatura	1460mm-1765mm
Altura (tolerância 20mm)	710mm
Profundidade mínima do tampo	500mm
Largura mínima do tampo, por pessoa	600mm
Área da superfície mínima, por pessoa	0,15m <sup>2</sup>
Distância horizontal mínima entre as pernas da frente da estrutura, por pessoa	500mm

<sup>154</sup> **Apetrechamento dos Centros Escolares – Anexo I.** In Mais Centro, Programa Operacional Regional do Centro.

Ainda a considerar para a conceção de mesas, é necessário ter em atenção o espaço existente para a colocação das pernas debaixo das mesmas. Este espaçamento é dado pelo esquema apresentado seguidamente, cujas dimensões representadas são as regulamentadas para o tamanho 5.

**Ilustração 3** – Dimensões de referência para espaço para as pernas sob a mesa, de acordo com a Norma Europeia 1729, em que 1 corresponde à frente da mesa do lado do aluno.

Fonte: EN 1729-1. 2012. Furniture - Chairs and tables for educational institutions - Part 1: Functional dimensions.



É importante referir que os requisitos desta norma permitem várias interpretações a nível do design das peças, sendo apenas especificadas quais as dimensões dos equipamentos.<sup>155</sup>

A segunda parte da norma especifica os requisitos de segurança e os métodos de testes que devem ser feitos aos equipamentos para verificarem os critérios de segurança, durabilidade e estabilidade dos equipamentos referenciados na primeira parte da norma. É referido ainda que esta norma aplica-se a mobiliário que pode ser utilizado com dispositivos portáteis, não abrangendo no entanto a postos de trabalho especiais, como é o caso de laboratórios, oficinas ou assentos alinhados.<sup>156</sup> Neste documento são indicados também alguns requisitos que o mobiliário deve seguir para responder aos critérios de segurança. Destes destacam-se:

- Os cantos, tanto do assento, como do encosto da cadeira, assim como os cantos das mesas, devem possuir arestas arredondadas (com, pelo menos, 2mm de raio);
- Os componentes tubulares devem estar devidamente protegidos;
- Os equipamentos não devem ser desmontáveis sem o uso de ferramentas apropriadas para o efeito;
- O acabamento da superfície do tampo da mesa deverá ser fosco para minimizar reflexões da luz.

Para além deste tipo de critérios, são também mencionados como devem ser feitos os testes de estabilidade das cadeiras, assim como onde deve ser medida a aplicação

<sup>155</sup> EN 1729-1. 2012. Furniture – Chairs and tables for educational institutions – Part 1: Functional dimensions. Lisboa: IPQ, p. 4.

<sup>156</sup> EN 1729-2. 2012. Furniture – Chairs and tables for educational institutions – Part 2: Safety requirements and test methods. Lisboa: IPQ.

de forças no assento e encosto da cadeira, no tampo da mesa para um ou dois utilizadores.

Todavia, foi possível averiguar no decorrer da investigação, a existência de outros referenciais técnicos para o apetrechamento dos centros escolares em Portugal. Apesar de se direcionar para o pré-escolar e primeiro ciclo, considerou-se pertinente a análise do documento, por neste serem mencionadas outros fatores a ter em conta e que não são referenciados na norma europeia, como os materiais utilizados. Este referencial, que procura auxiliar os municípios no “esforço de investimento na aquisição do mobiliário escolar (...) que alcancem níveis de qualidade eficazes”.<sup>157</sup>

As características do mobiliário escolar a adquirir pelos estabelecimentos de ensino em Portugal devem reger-se pelos parâmetros indicados em seguida:

“- Integrar materiais e componentes ajustados às especificações técnicas definidas;

- Ser objeto de processos de fabrico e montagem que permitam obter as características exigidas;

- Apresentar características dimensionais compatíveis com as faixas etárias a que se destinam;

- Apresentar características ergonómicas que permitam as melhores condições de conforto e segurança e o melhor rendimento nas atividades a que se destinam;

- Apresentar características de boa estabilidade em todas as condições de utilização previsíveis;

- Apresentar resistência compatível com uma utilização intensiva nas condições usuais nos estabelecimentos de ensino;

- Apresentar soluções integradas numa linha coerente de conceção As diferentes peças de mobiliário, em especial quando se destinam a formar conjunto, têm que obedecer a um sistema conjugado de formas, conceção estrutural e seleção de materiais;

- A conceção da estrutura tem que permitir soluções tão leves quanto possível e com adequada economia de execução, sem prejuízo da necessária resistência e estabilidade;

- Apresentar soluções sem componentes desmontáveis ou reguláveis;

- Apresentar soluções sem elementos agressivos ou quaisquer outros que possam interferir com a posição normal dos utentes;

---

<sup>157</sup> PORTUGAL, Ministério da Educação – **Apetrechamento dos Centros Escolares – Referenciais técnicos para Mobiliário Escolar e Listagens de Referência para Material Didático e Equipamento Informático**. In Mais Centro, Programa Operacional Regional do Centro. Lisboa: Ministério da Educação, 2008, p. 1.

- Apresentar soluções que permitam reduzir ao mínimo os trabalhos de limpeza, conservação e reparação.”<sup>158</sup>

Relativamente às características que cada material deve respeitar, este regulamento refere de forma sintética algumas categorias de materiais. Quanto às madeiras, é mencionado que esta deve ter características próprias para mobiliário no que refere à sua resistência mecânica, facilidade de laboração, durabilidade e estabilidade dimensional. Devem também estar isentas de ardido ou cardido, podridão, furos ou galerias de insetos. Para além disso, deve estar isenta de fendas, bolsas de resina ou nós, defeitos que comprometam a durabilidade e o aspeto da madeira. No que se refere às juntas, têm que ser unidas com cola (que devem ser sintéticas), com possível recurso a cavilhas de madeira. Os elementos móveis ou apoiados, como prateleiras, portas ou gavetas, devem ser executados de forma a evitar-se o seu empeno. O acabamento final das peças em madeira deve permitir o seu envernizamento na cor natural.<sup>159</sup>

Os derivados das madeiras apresentam algumas indicações, de que se destacam que a colagem dos elementos deve ser feita com colas resistentes à humidade (aglomerados de partículas, OSB e MDF), têm de ser revestidos em ambas as faces e bordos, mesmo quando aplicados em partes não visíveis (aglomerados de partículas, OSB e MDF) e, no caso dos contraplacados, ser constituídos por folhas em número ímpar e não ter juntas (com a alternativa de ter juntas perfeitamente unidas e não sobrepostas).<sup>160</sup>

Os elementos estruturais metálicos têm de ser de aço macio e a escolha dos tipos de chapas ou perfis deve ser feita de acordo com as exigências estruturais de cada peça de mobiliário. As suas características físicas (como durabilidade, resistência mecânica e à corrosão) devem adaptar-se à utilização prevista. O tratamento deste material, nomeadamente o corte, dobragem e ligação a outros elementos, têm de ser feitos de forma a não comprometer a resistência e segurança das peças de mobiliário. O acabamento dos elementos metálicos não pode ostentar rebarbas, saliências, arestas ou cantos contundentes e quaisquer outros efeitos visíveis.<sup>161</sup>

Relativamente aos vidros, estes não podem ter deformações gerais ou parciais visíveis a olho nu e deve ser liso, transparente ou incolor.<sup>162</sup>

A corticite é referida como um material que deve ser de textura fina e homogénea, com características próprias para a fixação temporárias de documentos.<sup>163</sup>

---

<sup>158</sup> Ibid, p. 2.

<sup>159</sup> Ibid, p. 3.

<sup>160</sup> Ibid, pp. 3-4.

<sup>161</sup> Ibid, pp. 4-5.

<sup>162</sup> Ibid, p. 5.

<sup>163</sup> Ibid, p. 5.

Quanto aos estofos, os materiais de revestimento a utilizar têm de ser resistentes, laváveis, de cor inalterável e pertencer, no mínimo, à classe de reação ao fogo M2 (materiais dificilmente inflamáveis).<sup>164</sup>

Os plásticos rígidos têm de ter características de solidez, durabilidade e aparência adequados à utilização prevista. Independentemente da sua composição, devem ser de cores inalteráveis à luz, resistentes ao envelhecimento e evitar a combustão.<sup>165</sup>

No que trata os componentes a recorrer no mobiliário são referidas as ferragens, os calços de apoio no solo, os niveladores, os rodízios e os dispositivos de regulação e fixação. As ferragens devem garantir as melhores condições de funcionamento e comportamento, permitir a fácil manipulação dos componentes, resistir à utilização intensiva sem desgaste, ser protegidas contra a oxidação. A ligação destas ferragens a outros componentes do equipamento não pode ser degradável pelo uso nem facilmente desmontável pelos utilizadores. Os calços de apoio no solo e os niveladores têm de ser em poliamida e não serem desmontáveis pela ação do uso ou dos utilizadores. Os rodízios têm de ser multidirecionais, com roda dupla e pala de proteção, com um diâmetro mínimo e 45mm. Os dispositivos de regulação têm de ser resistentes à utilização intensiva e não ter componentes que sejam desmontáveis por ação do uso ou dos utilizadores. Os dispositivos de fixação têm de possibilitar fixações sólidas e permanentes, não facilmente desmontáveis mas permitindo eventual levantamento e recolocação das peças a fixar.<sup>166</sup>

Relativamente aos acabamentos, a pintura e/ou o envernizamento deve ser feita em todas as superfícies expostas, mesmo que não estejam visíveis, e deve ser aplicada antes da ligação ou montagem dos diversos componentes. Estas superfícies devem estar perfeitamente acabadas, sem rugosidades perceptíveis pelo tato. As tintas devem ser de base de resinas epoxídicas e de poliéster e o seu acabamento final tem de ser perfeitamente homogéneo e sem defeitos visíveis. Já os vernizes têm de ser de poliuretano, incolores e de meio brilho. Os termolaminados (ou equivalentes) têm de ser de brilho mate e a sua aplicação sobre placas de aglomerado, contraplacado, lamelado ou outros deve ser feita nas duas faces, recorrendo ao uso de colas sintéticas indicadas para o efeito. As arestas dos termolaminados têm de ser devidamente boleadas ou chanfradas.<sup>167</sup>

Desta forma, os requisitos técnicos analisados dão algumas indicações mais precisas relativamente aos materiais e respetivos acabamentos, que facilitarão ao desenvolvimento de um projeto que se adapte aos ambientes escolares em Portugal, com possibilidade de utilização dos equipamentos nos países da Europa de integram o CEN.

---

<sup>164</sup> Ibid, p. 5.

<sup>165</sup> Ibid, p. 5.

<sup>166</sup> Ibid, pp. 5-7.

<sup>167</sup> Ibid, pp. 7-8.



## 12. Da teoria à prática

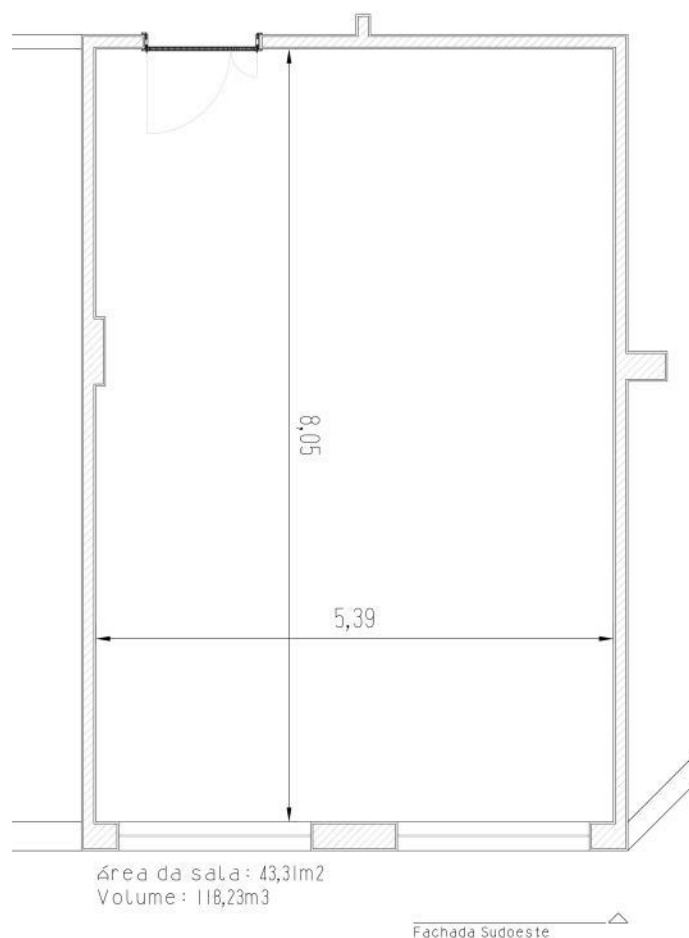
Estando abrangida toda a matéria essencial para a compreensão e execução do projeto, procedeu-se à aplicação destes conhecimentos na componente prática do Design de Interiores e Equipamento.

Para a obtenção de resultados mais aproximados da realidade das escolas básicas, foi selecionada uma sala de aula utilizada atualmente para o ensino das disciplinas de segundo e terceiro ciclo da instituição Fundação CEBI. A escolha da instituição teve como critério a facilidade em aceder a dados como plantas, levantamentos fotográficos e possibilidade de execução de medições auxiliares para obter uma maior aproximação dos cálculos à realidade. Seguidamente apresenta-se a investigação associada à segunda parte do estudo, que se centra na aplicação prática dos conteúdos até agora investigados.

Em primeiro lugar, é feita uma análise à sala que serve de modelo para aplicação do projeto. Em seguida, apresentam-se os cálculos elaborados no contexto do projeto e quais as considerações a ter em conta para a seleção da opção que será validada na fase final do projeto.

### 12.1. Análise da sala de aula modelo: dimensões e equipamento existente

A sala de aula que serviu de modelo para a presente investigação está integrada num dos edifícios que pertencem a um colégio que abarca vários ciclos de estudo, desde o pré-escolar ao 3º ciclo de escolaridade. Esta sala é utilizada pelo 2º e 3º ciclo e a sua utilização ter-se-á iniciado na década de 90. Esta caracteriza-se pela sua orientação, dimensões e equipamentos existentes, apresentados seguidamente. A sala localiza-se na fachada sudoeste do edifício em que está integrada, sendo a iluminação da mesma feita por duas janelas. As dimensões da sala são de 8,05m de comprimento e 5,38m de largura, sendo a sua área de 43,31m<sup>2</sup>. O pé-direito útil da sala é de 2,73m, sendo o seu volume de 118,23m<sup>3</sup>. Quanto aos materiais, o pavimento é revestido com linóleo, os paramentos revestidos a reboco e com acabamento a tinta branca e o teto possui aplicação de teto falso.



O tratamento dos dados apresentados foi traduzido na planta indicada na ilustração 4.

**Ilustração 4** — Planta da sala modelo vazia.

Fonte: autor.

Relativamente ao equipamento nela existente, este é diverso e não segue todo a mesma linha de conceção, levando a crer que a seleção do equipamento foi um pouco negligente. Desta forma, encontram-se nesta sala 6 mesas de dois lugares (com estrutura em metal e tampo em madeira) e 16 mesas individuais (em que 15 são de estrutura em metal e tampo de madeira e uma é um estirador). Quanto a lugares sentados, existem 26 cadeiras (em que 25 são de estrutura metálica e assento e encosto em madeira e 1 em polipropileno). Para arrumação de materiais, estão dispostos num canto da sala um armário e duas estantes. Para arrumação de casacos, duas réguas de cabides colocadas atrás da porta. Para depósito do lixo existe um balde. Colocado na parede posterior da sala existe um painel para colocação de trabalhos e informações. Quanto aos equipamentos de apoio à exibição dos conteúdos lecionados, encontra-se ao dispor do professor um computador (colocado na sua mesa de trabalho) e um quadro interativo.

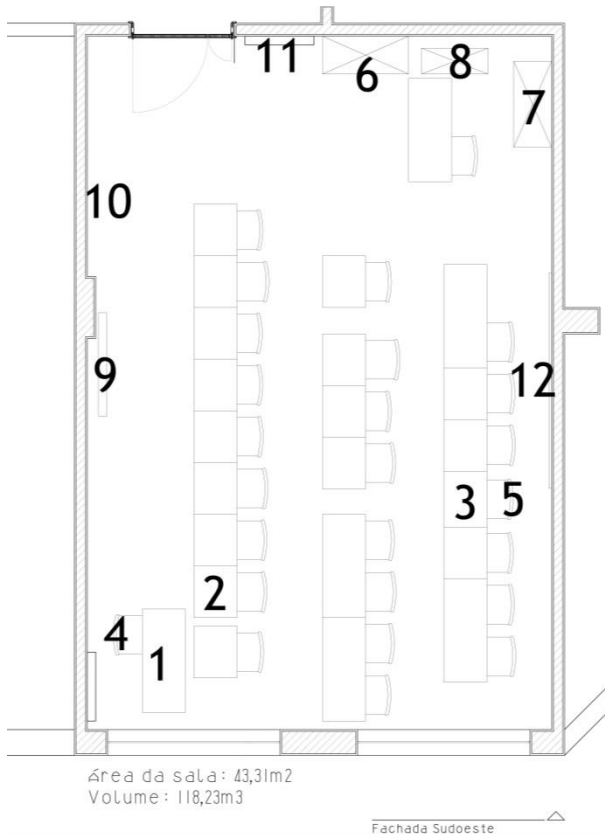
Para a obtenção de resultados aproximados à realidade, foi necessário fazer um levantamento das dimensões dos equipamentos existentes, assim como os materiais que o constituem, para poder utilizar esses dados como referência nos cálculos a executar posteriormente. Os equipamentos existentes na sala e as suas dimensões e materiais apresentam-se na tabela em seguida.

**Tabela 12** – Listagem de equipamentos: dimensões, materiais e ilustração.

Fonte: levantamento elaborado pelo autor.

<b>Tipologia do equipamento</b>	<b>Dimensões</b>	<b>Material</b>	<b>Figura ilustrativa</b>
Mesa de dois lugares (1) (6 unidades)	Largura: 1200mm Profundidade: 500mm Altura: 680mm	Apoios no solo em poliamida, estrutura metálica em tubo de aço, tampo em aglomerado de madeira com 21mm de espessura.	
Mesa individual (2) (16 unidades)	Largura: 600mm Profundidade: 500mm Altura: 680mm	Apoios no solo em poliamida, estrutura metálica em tubo de aço, tampo em aglomerado de madeira com 21mm de espessura.	
Estirador pequeno (3) (1 unidade)	Largura: 650mm Profundidade: 500mm Altura: 730mm	Apoios no solo em poliamida, estrutura metálica em tubo de aço, tampo em aglomerado de madeira revestido a folha de melamina e com 21mm de espessura.	
Cadeira em madeira (4) (25 unidades)	Largura: 450mm Profundidade: 380mm Altura do assento: 410mm	Apoios no solo em poliamida, estrutura metálica em tubo de aço, assento e encosto em contraplacado de madeira moldado.	
Cadeira em polipropileno (5) (1 unidade)	Largura: 430mm Profundidade: 350mm Altura do assento: 410mm	Polipropileno de alta resistência.	

<p>Armário fechado alto (6) (1 unidade)</p>	<p>(medidas exteriores) Largura: 1000mm Profundidade: 435mm Altura: 1850mm</p>	<p>Apoios no solo em poliamida, estrutura e portas em contraplacado de madeira, acabamento a verniz de poliuretano mate.</p>	
<p>Armário aberto alto (7) (1 unidade)</p>	<p>(medidas exteriores) Largura: 1000mm Profundidade: 435mm Altura: 1850mm</p>	<p>Apoios no solo em poliamida, estrutura em contraplacado de madeira, acabamento termolaminado branco.</p>	
<p>Estante com estrutura metálica (8) (1 unidade)</p>	<p>(medidas exteriores) Largura: 770mm Profundidade: 300mm Altura: 2030mm</p>	<p>Apoios no solo em poliamida, estrutura em perfis metálicos.</p>	
<p>Quadro interativo (9) (1 unidade)</p>	<p>Comprimento: 1657mm Altura: 1257mm</p>	<p>Superfície em folha de plástico à base de poliéster ou à base de melamina.</p>	
<p>Régua de cabides (10) (2 unidades)</p>	<p>Comprimento: 1200mm Altura: 200mm</p>	<p>Madeira maciça com acabamento em verniz de poliuretano.</p>	
<p>Radiador de parede (11) (2 unidades)</p>	<p>Comprimento: 800mm Altura: 670mm</p>	<p>Exterior em chapa metálica.</p>	
<p>Painel de cortiça (12)</p>	<p>Comprimento: 2500mm Altura: 1250mm</p>	<p>Cortiça com moldura em madeira.</p>	



Elaborado o levantamento dos equipamentos e das suas dimensões, procedeu-se à elaboração de um mapa de distribuição dos equipamentos na sala. Esta planta é acompanhada de algumas fotografias do espaço de intervenção para uma melhor compreensão do mesmo.

**Ilustração 5** — Planta da sala modelo com equipamento.

Fonte: autor.



**Fotografias 31.1 a 31.4** — Sala modelo.

Fonte: autor.

Estando concluída a análise da sala (essencialmente a nível de dimensões e materiais) e dos equipamentos nela existentes, segue-se a conversão destes dados noutros mais concretos para a possível resolução do problema da acústica no espaço.

## 12.2. Cálculos do tempo de reverberação do espaço e análise da adaptação do equipamento

A utilização dos dados recolhidos e a respetiva transformação em cálculos de reverberação é um dos passos mais importantes para compreender como devem ser melhorados os equipamentos a desenvolver. Este processo é uma área bastante específica da acústica e para a qual são necessários conhecimentos na aplicação das fórmulas da reverberação e compreensão dos valores de coeficientes de absorção sonora dos diversos materiais. Para tal, este capítulo desenvolveu-se com o apoio do colaborador do projeto (mais especializado na área da acústica), que procedeu ao tratamento dos valores resultantes das áreas dos materiais existentes na sala, sendo desta forma possível obter o tempo de reverberação da sala antes da intervenção. Em seguida, foi necessário analisar esses valores e considerar que materiais devem ser aplicados nos equipamentos de forma a obter um tempo de reverberação ótimo na sala.

Para se compreender qual o destaque dos equipamentos existentes numa sala (e, conseqüentemente, qual o seu impacto na reverberação existente na sala), foi necessário analisar algumas tabelas relativas aos coeficientes de absorção dos equipamentos escolares. Segundo Odete Domingues, as áreas de absorção sonora equivalente dos equipamentos existentes numa sala de aula convencional são dadas pelos valores referenciados na tabela apresentada em seguida.<sup>168</sup>

**Tabela 13** – Coeficientes de absorção de mobiliário e pessoas.

Fonte: DOMINGUES, Odete - *A Acústica de Edifícios - Materiais e Sistemas absorventes sonoros: Coeficientes de absorção sonora*, p.84-85.

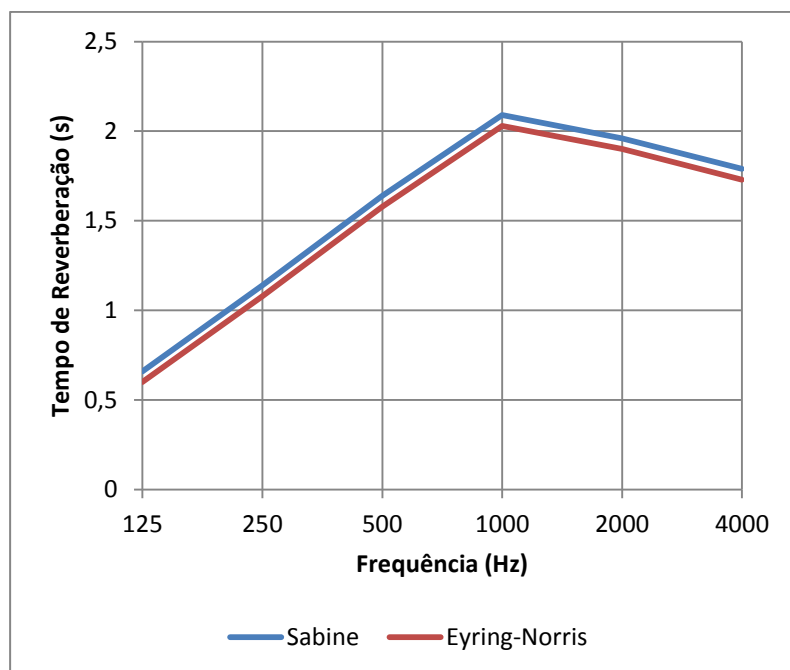
Material	Frequência (Hz)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Cadeira de madeira simples, vazia	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05
Pequena mesa	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05
Carteira escolar, vazia	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Carteira escolar, ocupada	0,18	0,24	0,28	0,33	0,37	0,39
Cadeira estufada de teatro, vazia	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33

<sup>168</sup> DOMINGUES, Odete – Op. Cit., pp. 84-85.

Cadeira estufada de teatro, ocupada	0,18	0,24	0,28	0,33	0,37	0,39
Cadeira almofadada revestida a couro ou plástico, vazia	0,19	0,23	0,28	0,28	0,28	0,23
Cadeira almofadada revestida a couro ou plástico, ocupada	0,25	0,29	0,33	0,40	0,43	0,42
Adulto de pé	0,15	0,38	0,42	0,43	0,45	0,45
Adulto sentado	0,33	0,40	0,44	0,45	0,45	0,45
Criança	--	0,20	0,35	0,40	0,50	--
Uma cadeira de madeira por m <sup>2</sup>	0,16	0,24	0,56	0,69	0,81	0,78
Duas cadeiras de madeira por m <sup>2</sup>	0,24	0,40	0,78	0,98	0,96	0,87

Nestes dados, pode analisar-se que o equipamento existente em salas de aula apresenta valores baixos de coeficientes de absorção (situados entre 0,01 si e 0,10 si) nas várias gamas de frequência (125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000 hz). É possível então constatar que a absorção sonora que é feita por parte do equipamento existente na sala será, provavelmente, muito reduzida. A sua confirmação será feita através da elaboração de cálculos. Desta forma, a aplicação de uma nova função ao projeto torna-se pertinente e levará a uma vertente de experimentação rica que procurará responder a este problema, cujos elementos a considerar são de elevada importância.

Os resultados obtidos neste estudo inicial encontram-se no gráfico que se apresenta em seguida. Este gráfico resulta da relação entre as áreas existentes na sala e a absorção dos respetivos materiais.



**Gráfico 7** – Tempo de reverberação da sala em várias gamas de frequência, antes da intervenção.

Fonte: Márcio Ferreira, colaborador do projeto.

Através da análise do gráfico (e considerando os resultados obtidos na fórmula de Eyring-Norris, que são mais exatos), correspondente à sala com o equipamento existente e sem ocupação, foi possível chegar a algumas conclusões.

A reverberação da sala nas altas frequências (1000Hz, 2000Hz e 4000Hz) é muito elevada (localizada sensivelmente entre 1,5s e 2,1s), prejudicando claramente a comunicação no interior da sala. A reverberação da sala nas baixas frequências (125Hz, 250Hz e 500Hz) é inferior à das altas frequências possuindo, no entanto, tempos de reverberação bastante distintos (situados entre 0,6s e 1,6s). Analisando também a regulamentação existente no que trata o tempo de reverberação em salas de aula (em Portugal regulamentado pelo decreto-lei 96/2008), e aplicando a fórmula deste regulamento ao volume da sala, constatou-se que o tempo de reverberação não deve ser superior a 0,74s em qualquer uma das gamas de frequência. No caso estudado, apenas a frequência de 125 Hz se encontra abaixo deste valor, estando todas as outras gamas de frequência acima do tempo de reverberação recomendado.

Prosseguiu-se então com o estudo dos equipamentos de forma a estes contribuírem para a diminuição do tempo de reverberação da sala nas várias gamas de frequência.

### 12.3. Materialização conceptual

Anteriormente à elaboração dos estudos, foram definidas algumas diretrizes de forma a facilitar o desenvolvimento do projeto. Estas diretrizes relacionaram-se não só com aspetos relacionados com a acústica, mas também com outros parâmetros

como viabilidade económica do projeto, facilidade de produção, entre outros. Essa listagem de parâmetros e respetivas soluções apresenta-se de seguida.

#### Acústica:

- Absorção de baixas frequências (aplicação de membranas ressonantes ou similar);
- Absorção de médias frequências (aplicação de ressoadores de cavidade ou similar);
- Absorção de altas frequências (aplicação de lãs minerais, aglomerado de cortiça ou similar);
- Alteração da trajetória de ondas sonoras (direcionar ondas sonoras de forma conveniente);
- Adaptabilidade a diferentes tempos de reverberação e frequências predominantes no espaço em estudo (possibilidade de transformação dos equipamentos de forma a absorverem as frequências existentes em espaços de diferentes dimensões e propriedades).

#### Ergonomia (em conformidade com a norma EN 1729-1):

- Adequado à faixa etária em estudo (projetar os equipamentos para crianças entre os 11 e os 15 anos, estatura entre os 1460mm e os 1765mm);
- Conforto adaptado à função (projetar de acordo com a posição de trabalho sentado, com adequação das alturas das mesas e das cadeiras, assim como ter em consideração o espaço para as pernas debaixo da mesa).

#### Segurança (em conformidade com a norma EN 1729-2):

- Equipamentos livres de arestas vivas (projetar equipamentos de cantos boleados);
- Estabilidade;
- Soluções sem componentes desmontáveis (desmontável através do uso de ferramentas).

#### Economia:

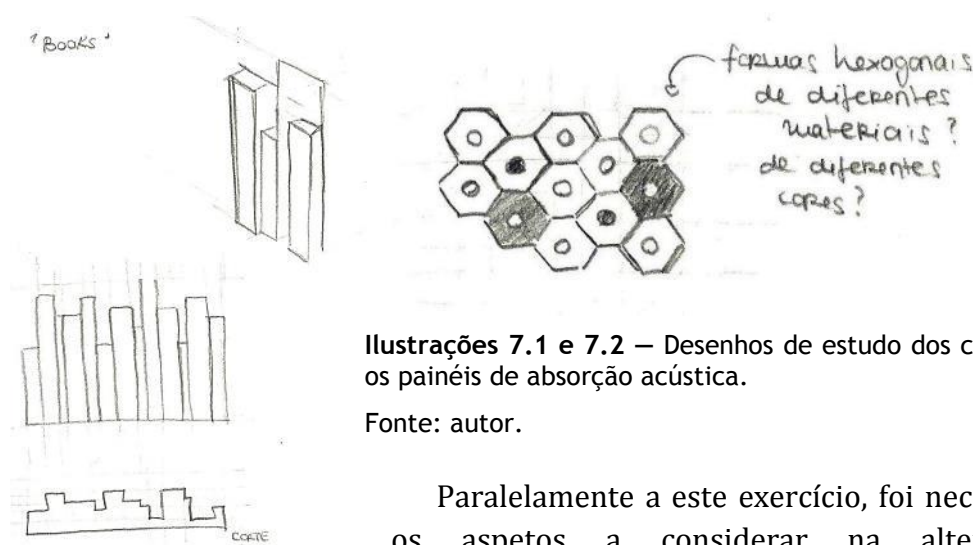
- Componentes de fácil produção e/ou substituição;
- Racionalização dos materiais utilizados;
- Peças modulares, de possível execução em série.

#### Design:

- Forma adaptada à função;
- Desenho do equipamento de acordo com um conceito;
- Imagem inovadora;



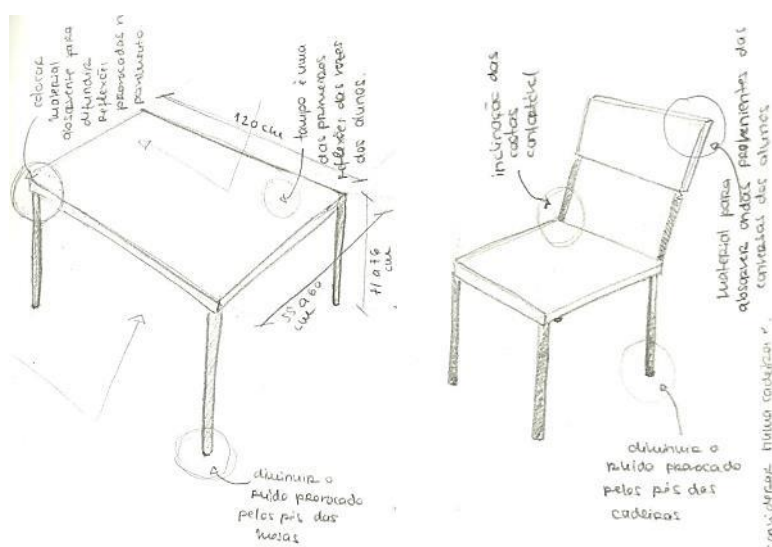
A escolha das formas dos componentes dos painéis têm como fundamento os vários aspetos a considerados anteriormente. Acima de tudo, a seleção incidu num painel constituído por peças modulares (com possibilidade de produção em série) e que pudessem encaixar de forma fácil entre si. Também se deu especial importância à possibilidade de alteração destes painéis, de forma a ser possível adaptar os equipamentos para as necessidades acústicas da sala a intervir, permitindo desta forma adequar os materiais a aplicar nos equipamentos à reverberação existente nas salas, assim como gama de frequências predominantes.



**Ilustrações 7.1 e 7.2** – Desenhos de estudo dos componentes para os painéis de absorção acústica.

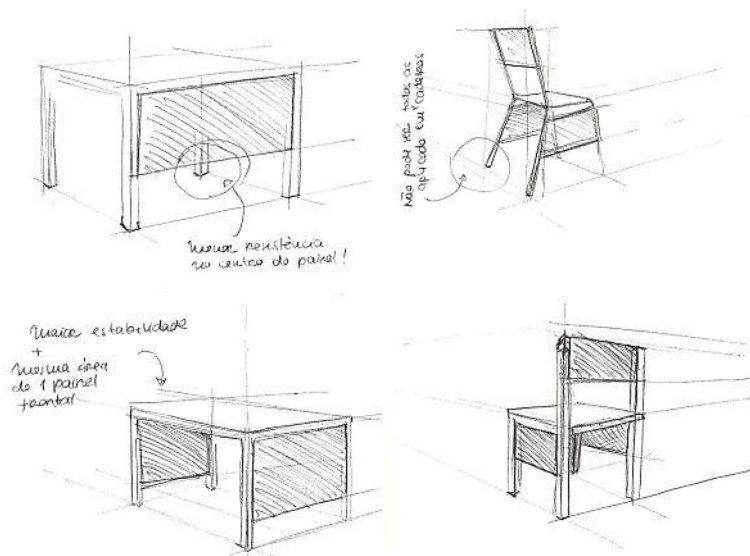
Fonte: autor.

Paralelamente a este exercício, foi necessário avaliar os aspetos a considerar na alteração destes equipamentos, bem como avaliar quais as possibilidades de intervenção destes equipamentos de forma a não interferir com a funcionalidade dos mesmos. Este estudo foi executado essencialmente a nível de mesas e cadeiras, equipamentos que se relacionam diretamente com o bem-estar do seu utilizador.



**Ilustrações 8.1 e 8.2** – Desenhos de estudo dos elementos a considerar na construção das mesas e cadeiras.

Fonte: autor.



**Ilustrações 9.1 e 9.2** – Desenhos de estudo dos elementos a considerar na construção das mesas e cadeiras.

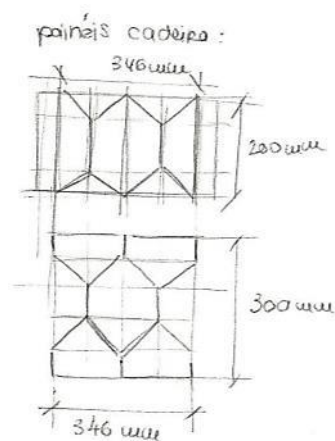
Fonte: autor.

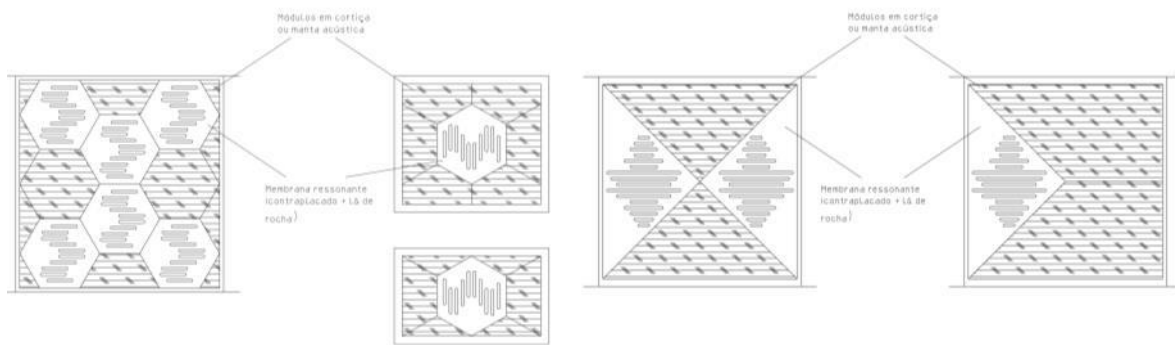
A aplicação dos painéis foi escolhida com base nos parâmetros de segurança e de forma a assegurar a durabilidade dos equipamentos. No caso das mesas, a aplicabilidade dos painéis nas laterais das mesas confere-lhes uma maior sustentação, assim como reduz a possibilidade de dano (pelas suas menores dimensões e pela sua localização relativamente às pernas dos alunos).

Através destes estudos em simultâneo, foi possível definir as dimensões dos painéis adaptados às dimensões das mesas (lateral e frontal), das cadeiras (posterior superior e inferior) e dos armários (lateral e frontal). Foi necessário definir as furações das membranas ressonantes para que a sua absorção às médias e baixas frequências fosse maior (sendo indispensável que a área de furação seja 16,5% da área total da membrana). Toda esta parte do processo foi desenhada em simultâneo através de desenhos à mão levantada e estudos em desenho técnico, de forma a ter uma maior consciência nas dimensões e rigor de dimensionamentos dos componentes.

**Ilustração 10** – Desenhos de estudo com dimensões para os painéis das cadeiras.

Fonte: autor.

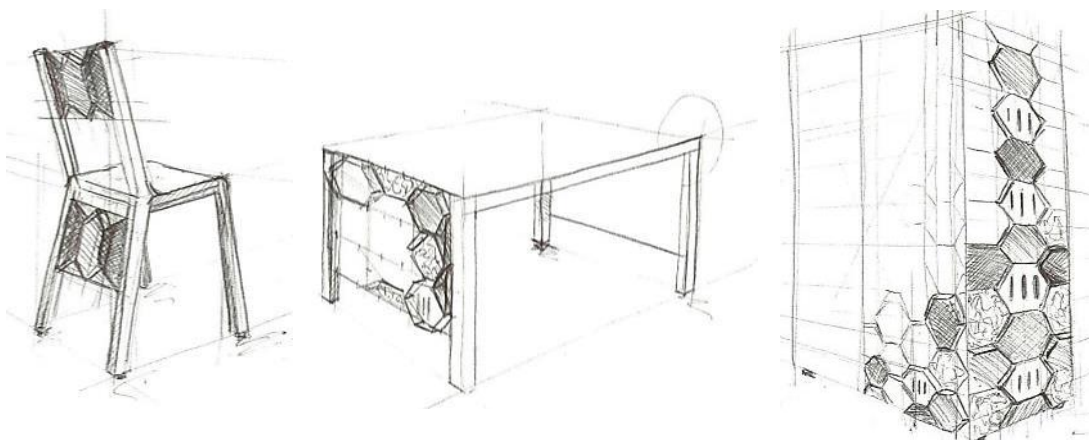




**Ilustrações 11.1 e 11.2** – Desenhos rigorosos das propostas de painéis para mesas e cadeiras.

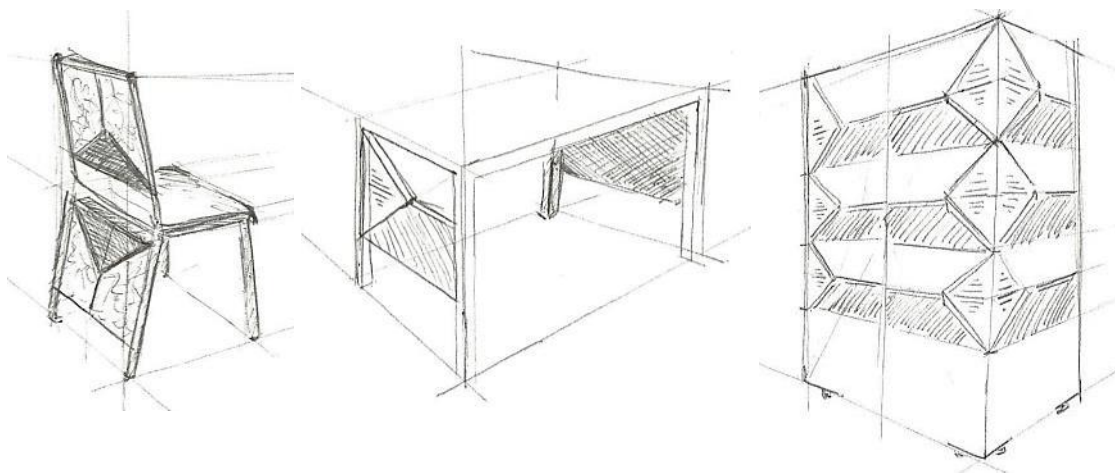
Fonte: autor.

Estando então definidas as propostas de painéis que constituem os equipamentos a desenvolver, começaram a surgir as primeiras propostas dos mesmos. A conceção de equipamento foi constituída por três vertentes que resultaram em três tipos de soluções distintos: em primeiro lugar, o desenvolvimento de novos equipamentos, que se centra na proposta de construção de uma mesa de dois lugares, uma cadeira, um armário e uma luminária. Estes equipamentos foram desenvolvidos em duas perspetivas, em que uma delas é mais eficaz do ponto de vista acústico (absorvendo de melhor forma as várias gamas de frequência) e a outra mais económica (sendo menos eficaz na resolução do problema acusticamente, mas mais em conta a nível de materiais e custos). Em segundo lugar, é abordada uma vertente que se enquadra no aproveitamento de equipamentos existentes, sendo para estes desenhado uma possibilidade de aplicação de painéis que acondicionam acusticamente a sala de aula. Estes painéis podem ser aplicados nas mesas, cadeiras e armários existentes no espaço.



**Ilustrações 12.1, 12.2 e 12.3** – Propostas da aplicabilidade dos painéis difusores nos equipamentos, linha “lápiz”.

Fonte: autor.



**Ilustrações 13.1, 13.2 e 13.3** – Propostas da aplicabilidade dos painéis difusores nos equipamentos, linha “low cost”.

Fonte: autor.

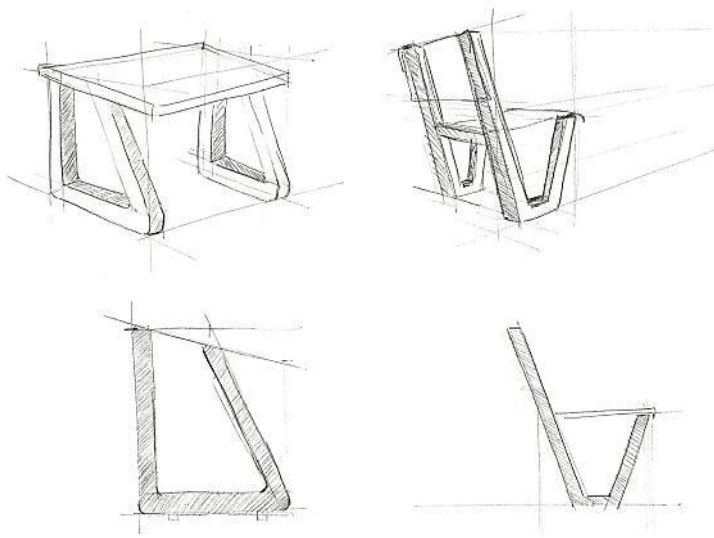


**Ilustrações 14.1 e 14.2** – Propostas da aplicabilidade dos painéis difusores em equipamentos pré-existent.

Fonte: autor.

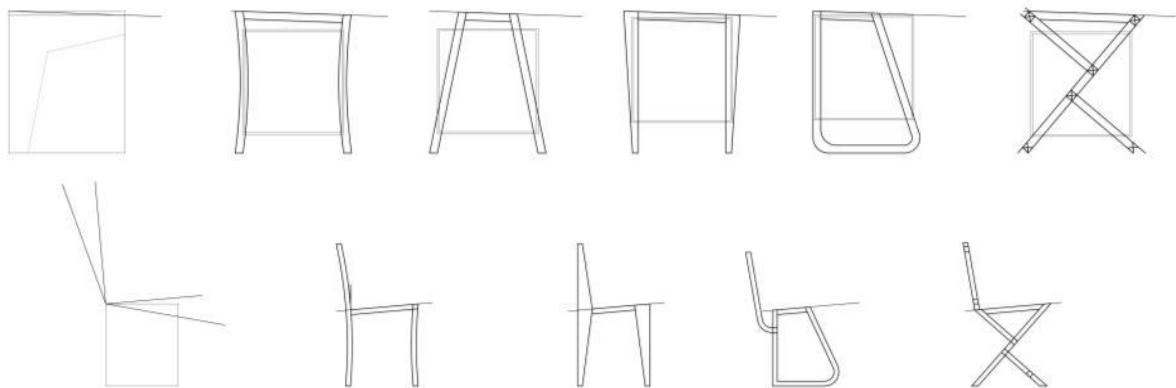
No entanto, a concepção de novos equipamentos exigiu uma extensa pesquisa do âmbito de sistemas construtivos de forma a tornar os equipamentos desenvolvidos concretizáveis e de possível produção em série.

Para tal, foi necessário elaborar estudos de cada equipamento. Estes estudos foram feitos através da elaboração de desenhos, adaptação a desenho técnico e modelação tridimensional da estrutura. Com o recurso aos três processos, foi possível chegar a uma conclusão mais consistente de qual seria o equipamento mais viável de concretizar e qual se enquadrava melhor com parâmetros delineados inicialmente. Em primeiro lugar, este processo foi executado para as mesas e cadeiras, cujos esboços e seleção foram desenvolvidos em paralelo.



**Ilustrações 15.1 e 15.2** – Esboços de novos equipamentos - mesas e cadeiras.

Fonte: autor.

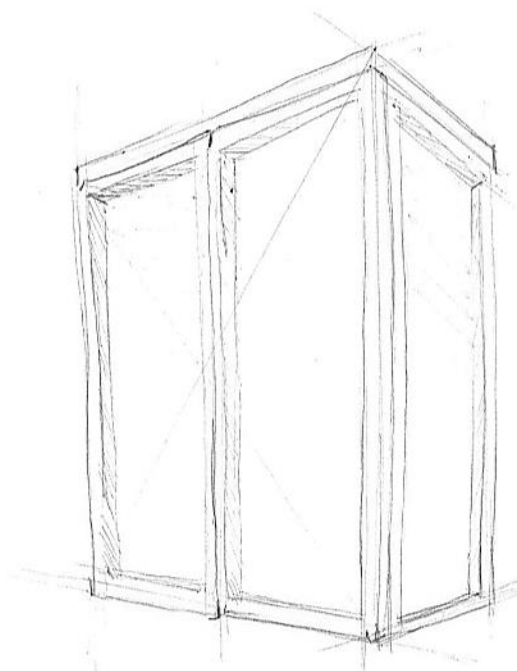
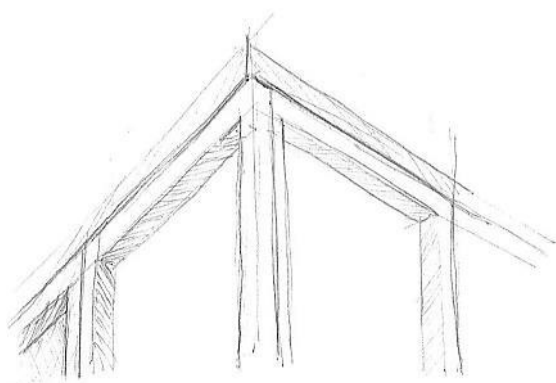


**Ilustrações 16.1 e 16.2** – Desenhos rigorosos das diversas propostas para novos equipamentos - mesas e cadeiras.

Fonte: autor.

Em segundo lugar, determinou-se a melhor solução para desenvolvimento do armário. Para a definição do equipamento, foi importante considerar que características deveria este equipamento possuir para se diferenciar da restante oferta existente no mercado. Uma vez que o armário é um dos mais importantes meios de absorção das ondas sonoras indesejadas (pelas suas dimensões e possibilidade de conversão das áreas do armário em áreas de absorção), este deveria ser desenhado de forma a facilitar a aplicação dos componentes de absorção.

Relativamente à sua construção, esta deveria ser fácil e com uma boa racionalização do material. Tendo em conta estes aspetos, iniciou-se o processo de desenhos e seleção da ideia mais viável, não só através de desenho à mão, mas também de desenho rigoroso de forma a ser possível considerar as dimensões dos componentes a aplicar (cujas medidas foram definidas previamente, para ser possível o encaixe dos mesmos componentes nos painéis das mesas e cadeiras).

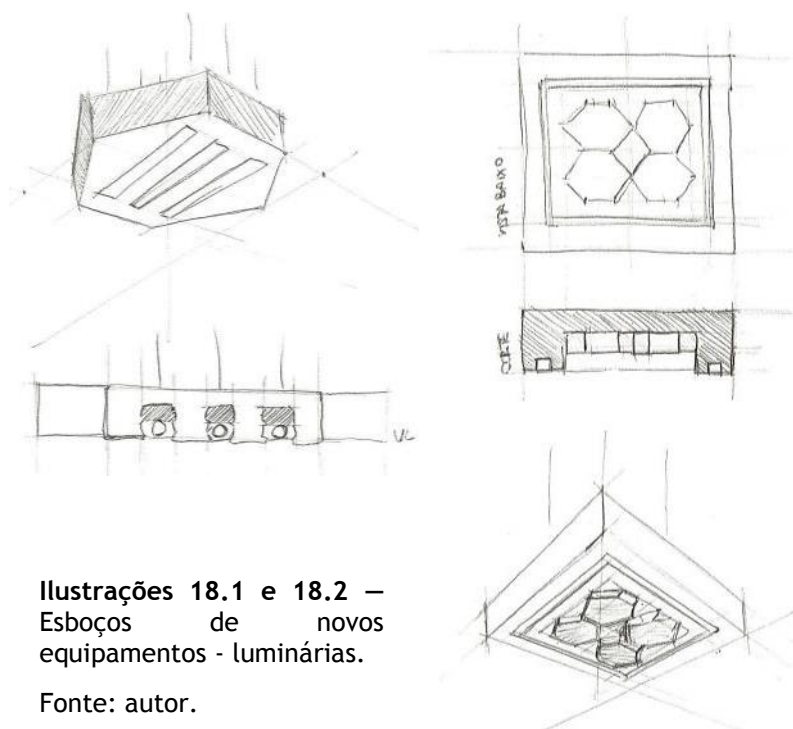


**Ilustrações 17.1 e 17.2** – Esboços de novos equipamentos - armários.

Fonte: autor.

Por último, o processo foi repetido para a luminária. No caso desta, o procedimento foi mais complexo, uma vez que era necessário ter em conta mais do que um problema.

Foram ponderadas várias soluções de iluminação, procurando ter em conta qual a mais económica e durável. A escolha do material a utilizar teve em vista dois parâmetros distintos: em primeiro lugar qual o material com maior eficácia na absorção acústica numa das gamas de frequência, em segundo lugar qual o material que apresenta mais resistência a alterações de temperatura. Após essa seleção, escolheu-se como material preferencial a cortiça e elaboraram-se os respetivos desenhos de proposta.



Ilustrações 18.1 e 18.2 –  
Esboços de novos  
equipamentos - luminárias.

Fonte: autor.

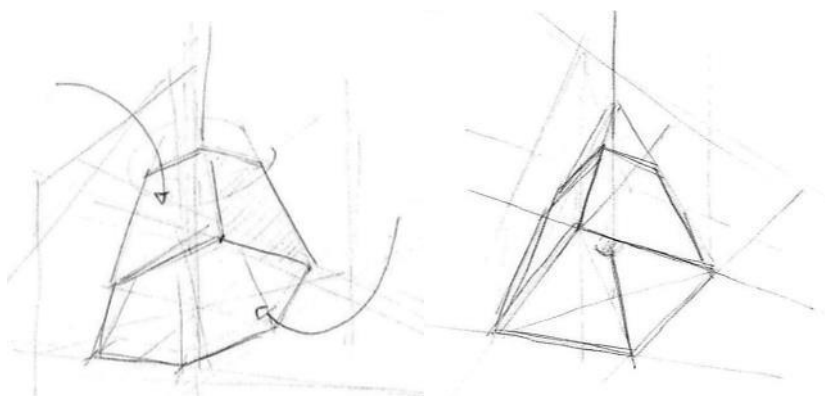
Ao longo do desenvolvimento dos desenhos, surgiram diversas questões que levaram à evolução do desenho do equipamento. Primeiramente, a importância da forma e dos materiais necessários para a reflexão da luz. Este fator é de extrema relevância, uma vez que esta luminária é para aplicar numa área de trabalho, onde existe um elevado rigor com a intensidade luminosa necessária para o

desenvolvimento de tarefas como ler e escrever. Para estes casos, a intensidade luminosa recomendada é de 500 lux.<sup>169</sup> No caso específico das salas de aula, está referido nos referenciais técnicos para construção de escolas básicas que o nível de iluminação sobre os planos de trabalho deve situar-se entre os 350 a 400 lux.<sup>170</sup> Constatou-se também que, para uma maior eficiência da luminária (na propagação da luz), esta deverá conter um refletor em alumínio anodizado ou espelhado.<sup>171</sup> Em segundo lugar, a questão relacionada com a contribuição da luminária para um tempo de reverberação recomendado para o interior da sala (dado que esta contribui para um redimensionamento do teto da sala, onde se faz grande parte da reflexão das ondas sonoras). Desta forma, foi necessário alterar o desenho da luminária para a tornar mais eficiente nos dois parâmetros.

<sup>169</sup> NBR 5413. 1992. Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro: ABNT, p. 3.

<sup>170</sup> PORTUGAL, Ministério da Educação – **Referenciais técnicos para concepção/construção de Escolas Básicas (2º e 3º ciclos)**. Lisboa: Ministério da Educação, 2009. Referencial facultado pela Direção-Geral de Estabelecimentos Escolares, Direção de Serviços da Região Centro.

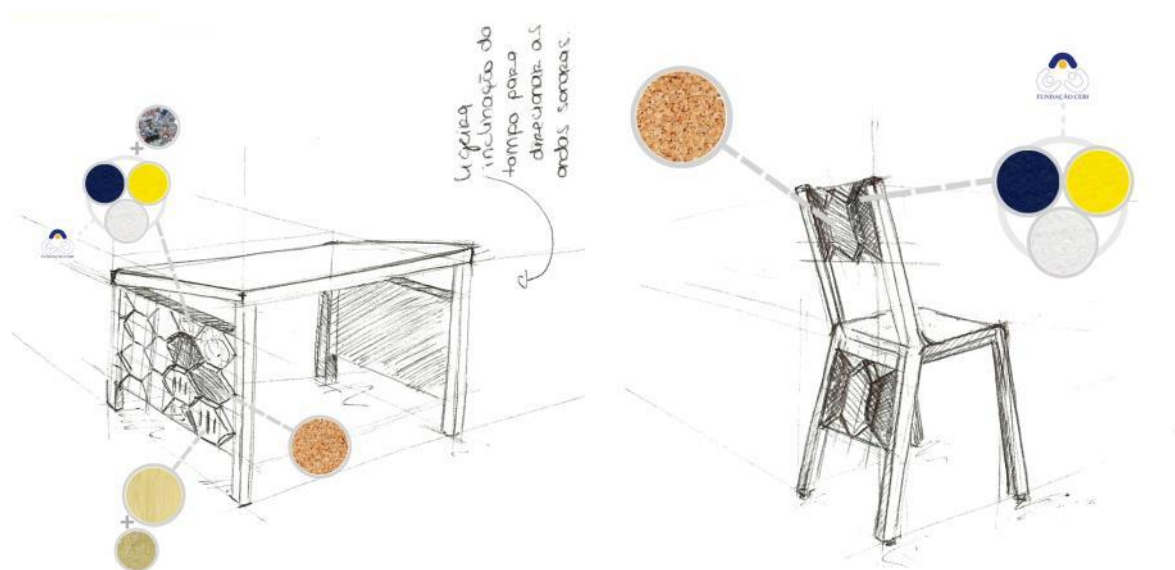
<sup>171</sup> ALMEIDA, Traça de – Utilização Eficiente de Energia em Iluminação [Projeção visual]. Apontamentos da disciplina de Gestão de Energia Elétrica do curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Acessível na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, p. 7.



**Ilustrações 19.1 e 19.2** –  
Esboços de novos  
equipamentos - luminárias.

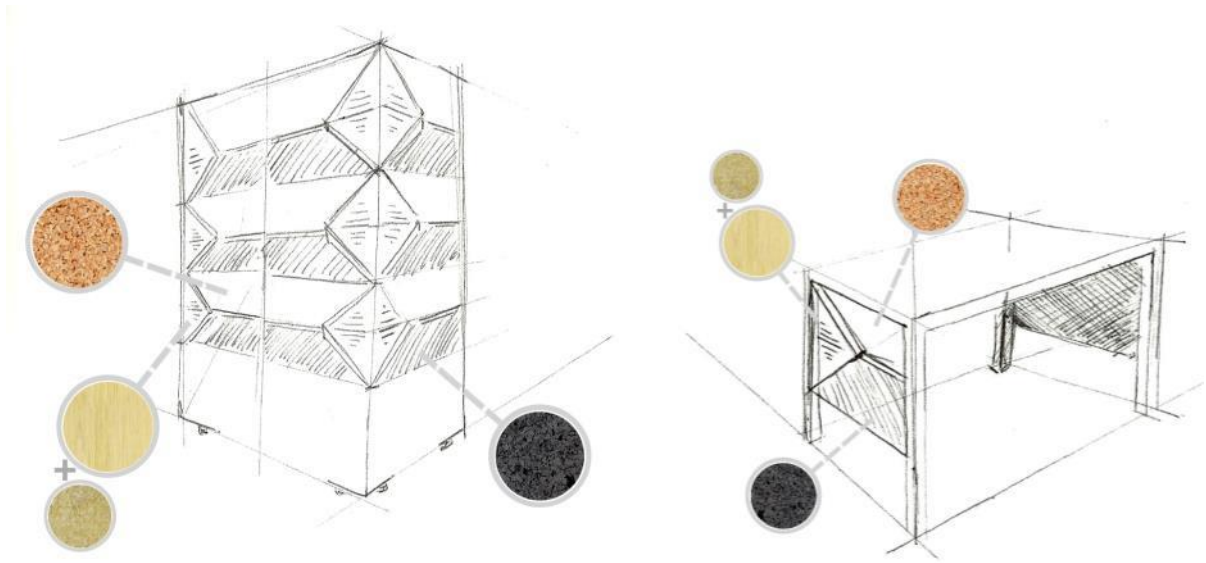
Fonte: autor.

Também nesta fase inicial se deu uma especial atenção aos materiais a utilizar (uma vez que estes são determinantes no desempenho dos equipamentos como elementos de acondicionamento acústico da sala), através da elaboração de esquemas gráficos de aplicação de materiais. Nos exemplos apresentados, pode ver-se que predominam materiais como a cortiça (nas variantes de aglomerado convencional e aglomerado negro) a combinação entre contraplacado e lã de rocha (dando origem às membranas ressonantes) e a manta acústica (cujo acabamento será personalizável de acordo com a instituição de ensino e as suas cores respetivas).



**Ilustrações 20.1 e 20.2** – Esquematização gráfica da primeira seleção dos materiais a aplicar nos equipamentos, linha “lápis”.

Fonte: autor.



**Ilustrações 21.1 e 21.2** – Esquemática gráfica da primeira seleção dos materiais a aplicar nos equipamentos, linha “low cost”.

Fonte: autor.

Para ser possível compreender melhor qual o resultado final a obter pela conjugação dos materiais, procedeu-se também à modelação tridimensional dos painéis.



**Ilustrações 22.1 a 22.4** – Modelação tridimensional dos painéis a aplicar nos equipamentos, linha “lápiz” e “low cost”.

Fonte: autor.

Contudo, esta seleção de materiais acabou por sofrer algumas alterações, sendo necessário adequar os materiais a utilizar à melhoria da reverberação da sala (a seleção definitiva de materiais será abordada na memória descritiva do projeto, onde será justificado o emprego dos diversos materiais).

#### 12.4. Seleção dos equipamentos mais adequados: desenho técnico e modelação tridimensional

Posteriormente ao desenvolvimento dos inúmeros esboços de proposta para os diversos equipamentos, foi imprescindível a seleção da ideia mais viável e que melhor se enquadrava nos parâmetros definidos inicialmente.

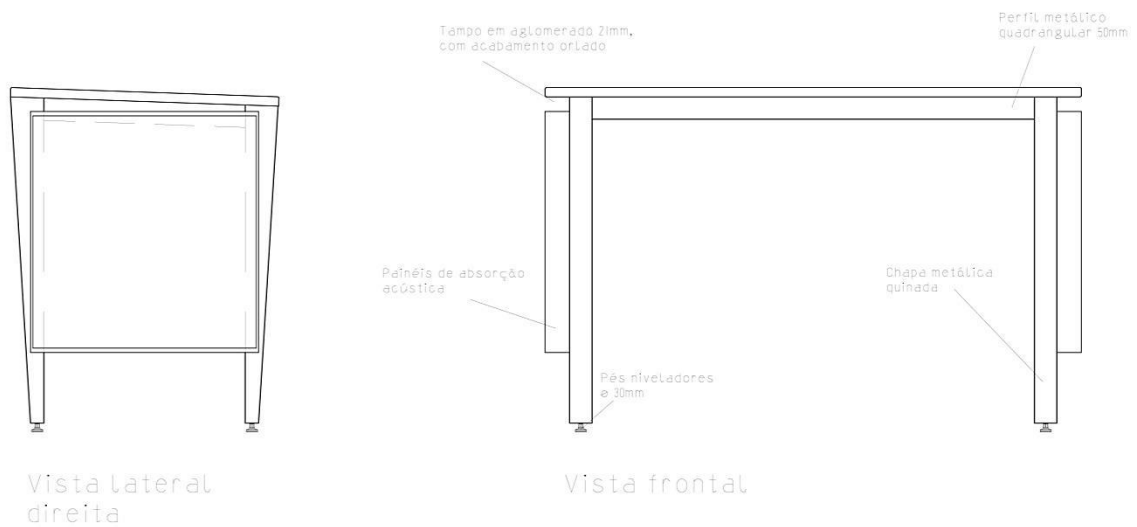
No caso das mesas e das cadeiras, foi escolhida uma linha em que a construção era relativamente simples, mas também a melhor conseguiu responder à integração dos painéis no equipamento.

Assim, foram selecionados os equipamentos ilustrados nas ilustrações 23.1 e 23.2, sendo elaborados posteriormente os respetivos desenhos técnicos e modelação tridimensional.



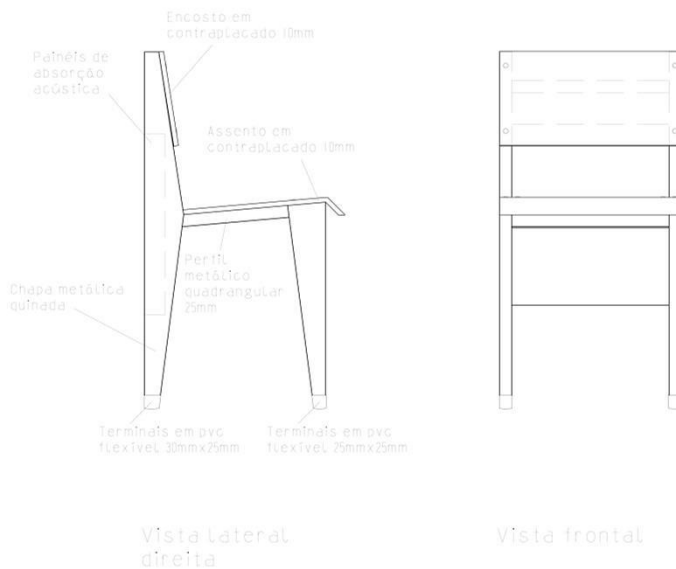
Ilustrações 23.1 e 23.2 – Esboços dos equipamentos escolhidos - mesas e cadeiras.

Fonte: autor.



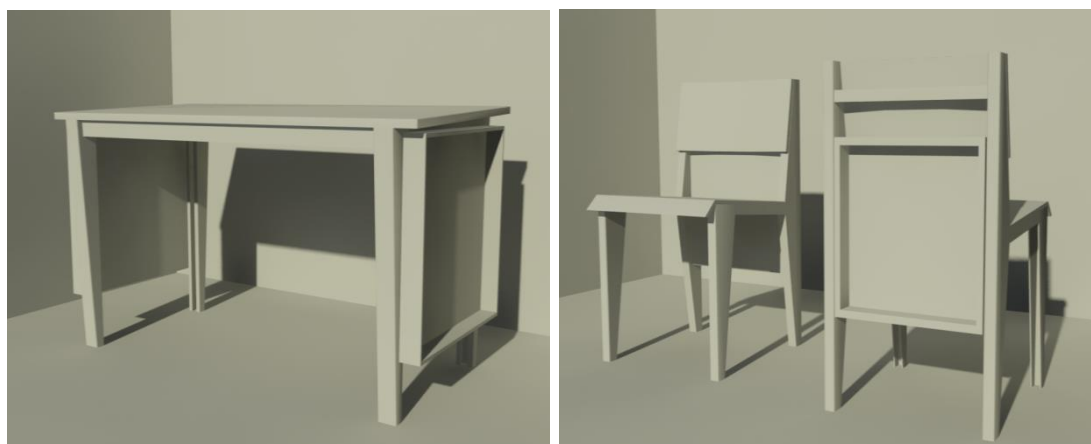
**Ilustrações 24.1 e 24.2** – Vista frontal e vista lateral direita da mesa, com representação da localização dos painéis acústicos.

Fonte: autor. Dimensões gerais do equipamento: altura 770mm, largura 1200mm, profundidade 600mm. Desenho técnico pormenorizado e à escala em anexo.



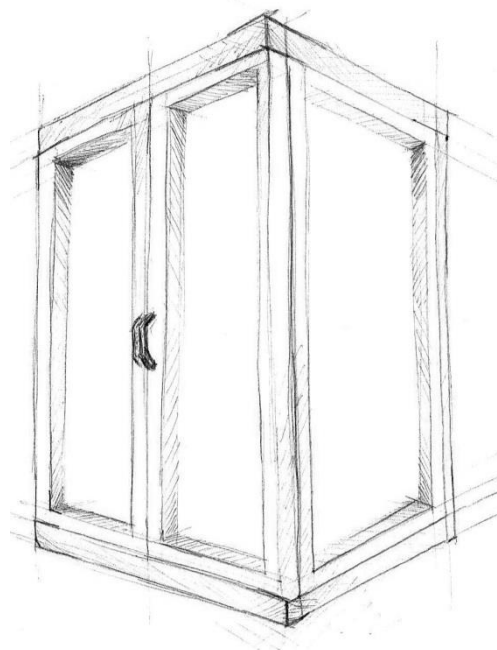
**Ilustrações 24.3 e 24.4** – Vista frontal e vista lateral direita da cadeira, com representação da localização do painel acústico.

Fonte: autor. Dimensões gerais do equipamento: altura 750mm, largura 380mm, profundidade 380mm, altura máxima do assento 440mm. Desenho técnico pormenorizado e à escala em anexo.



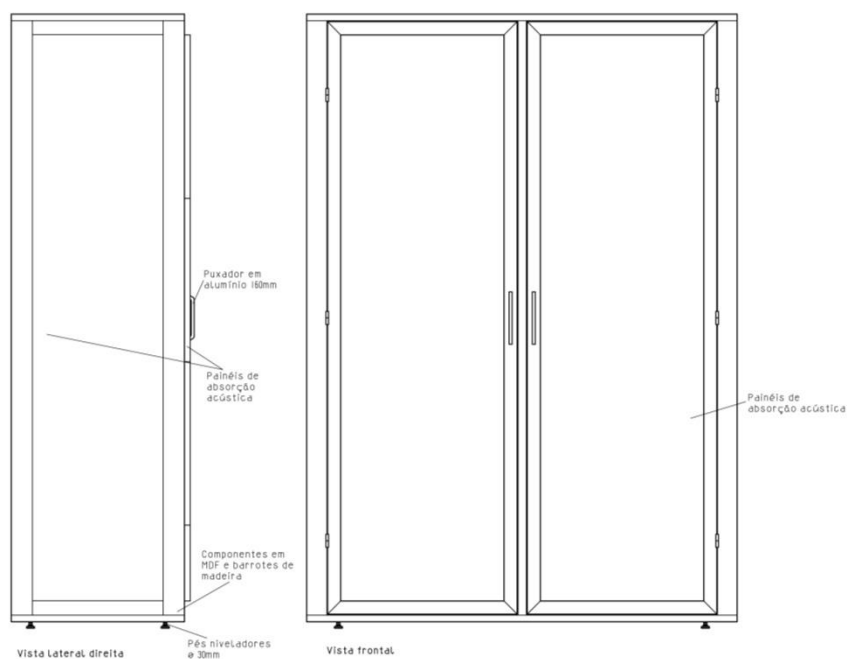
**Ilustrações 25.1 e 25.2** – Modelação tridimensional sem aplicação de materiais dos equipamentos escolhidos - mesas e cadeiras. Fonte: autor.

No caso do armário, foi selecionado o equipamento com maior facilidade de montagem e racionalização dos materiais. O seu desenho que considera a inserção dos módulos que tratam o acondicionamento acústico é o pormenor de maior destaque da peça, sendo o fator diferenciador de outros equipamentos da mesma tipologia.



**Ilustração 26** — Esboços dos equipamentos escolhidos - armário.

Fonte: autor.



**Ilustrações 27.1 e 27.2** — Vista frontal e vista lateral direita do armário.

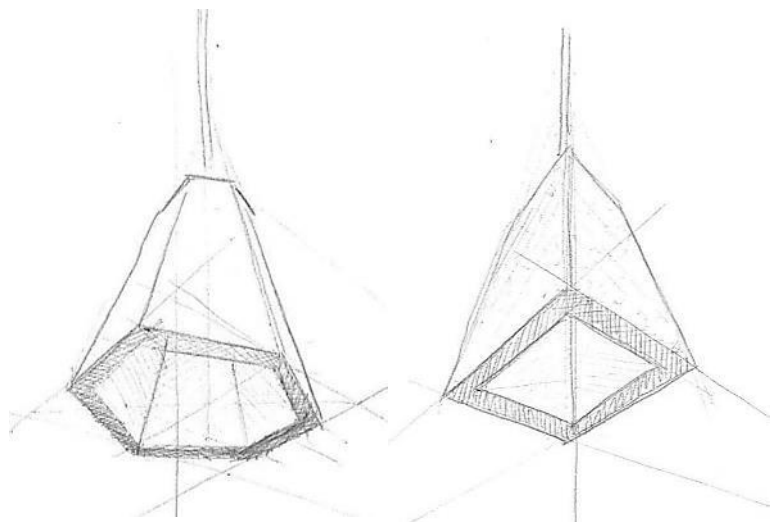
Fonte: autor. Dimensões gerais do equipamento: altura 1880mm, largura 1320mm, profundidade 550mm. Desenho técnico pormenorizado e à escala em anexo.



**Ilustração 28** – Modelação tridimensional sem aplicação de materiais dos equipamentos escolhidos - armário.

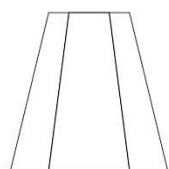
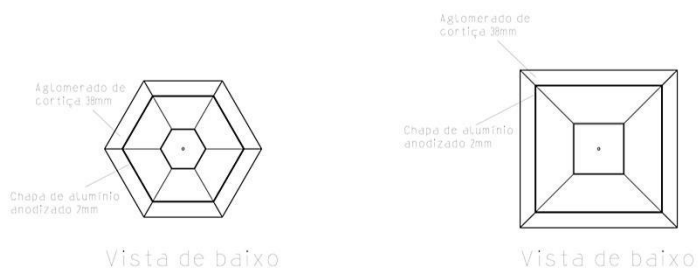
Fonte: autor.

Quanto à luminária, foi escolhida a que se considerou responder melhor aos dois problemas existentes: eficiência da intensidade luminosa e eficácia na absorção de ondas sonoras que incidem no teto. Após a elaboração de diversos estudos, optou-se pela que trazia uma maior probabilidade de ser viável, não só a nível de eficiência, mas também a nível de racionalização de materiais, recurso a componentes elétricos existentes no mercado e facilidade de construção.

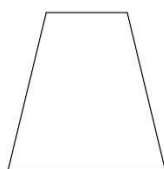


**Ilustrações 29.1 e 29.2** – Esboços dos equipamentos escolhidos - luminárias.

Fonte: autor.



Vista frontal



Vista frontal

**Ilustrações 30.1 a 30.4** – Vista frontal e vista de cima das luminárias.

Fonte: autor. Dimensões gerais do equipamento: altura 400mm, largura máxima 400mm. Desenho técnico pormenorizado e à escala em anexo.



**Ilustrações 31.1 e 31.2** – Modelação tridimensional sem aplicação de materiais dos equipamentos escolhidos - luminárias.

Fonte: autor.

Pela incerteza dos resultados obtidos pela luminária e pela necessidade de executar mais testes a este equipamento (tanto ao nível da iluminação como acusticamente), as luminárias não serão consideradas na contabilização do tempo de reverberação e, conseqüentemente, na validação do projeto.

Estando finalizados os desenhos de todos os equipamentos, procedeu-se à modelação tridimensional da sala modelo como um todo, procurando integrar um número de equipamentos que satisfizesse as necessidades: mesas e cadeiras para vinte e quatro alunos e um professor e dois armários para arrumação. Na modelação foram também mantidos os elementos presentes na sala que não sofreram intervenção (que é o caso das régua de cabides, balde do lixo, painel de cortiça, projetor e painel interativo). Procedeu-se à modelação da sala incluindo as duas linhas desenvolvidas: “low cost” e “lápiz”.



**Ilustrações 32.1 a 32.4** – Modelação tridimensional da sala modelo com implementação de novos equipamentos, linha “low cost”.

Fonte: autor.



**Ilustrações 33.1 a 33.4** – Modelação tridimensional da sala modelo com implementação de novos equipamentos, linha “lápiz”.

Fonte: autor.

Procurou-se ainda estudar uma possível solução que permitisse a aplicabilidade dos painéis desenvolvidos a equipamentos existentes. Para tal, foi necessário refletir relativamente a alguns sistemas construtivos e de encaixe que tornassem possível a aplicação dos painéis com as mesmas dimensões a equipamentos standardizados.

## 12.5. Estimativa orçamental

Paralelamente à fase de finalização do projeto, que incidiu numa maior atenção relativamente aos componentes necessários para a execução da linha de mobiliário apresentada, foi necessário obter uma maior consciencialização da estimativa orçamental do projeto.

Quanto aos materiais necessários, estes foram definidos numa fase inicial, uma vez que a performance acústica dos equipamentos se relaciona diretamente com os materiais e os seus coeficientes de absorção. Posteriormente, aquando da pormenorização técnica dos equipamentos, tomou-se uma maior consciência de quais

as ferragens necessárias para a montagem dos mesmos, tendo em conta os parâmetros de segurança a ela associados. Por último, teve-se ainda em conta os custos existentes associados à produção do equipamento (nomeadamente, a mão-de-obra por estes exigida).

Desta forma, foi necessário elaborar uma lista de todos os componentes necessários, medição das dimensões associadas a cada tipo de material (área, comprimento ou número de unidades), listar e contactar os fornecedores de cada material e, por último, elaborar os cálculos essenciais.

Este processo foi complexo, uma vez que este projeto em específico exigiu uma extensa investigação ligada aos materiais necessários. Assim, foi possível chegar a algumas conclusões relativamente aos custos de produção das peças desenhadas, apresentando-se um orçamento estimado do custo de cada um dos equipamentos (detalhado em anexo). É importante referir que os valores estimados se centram na produção de um exemplar de cada uma das peças, expectando-se que, com a produção em série, os custos de produção de cada equipamento sejam reduzidos drasticamente.

## 12.6. Memória descritiva

Todo o desenvolvimento do presente projeto foi composto por uma sequência de processos, em que foram exigidas diversas tomadas de decisão. A presente memória descritiva é o meio de explicar essas decisões tomadas ao longo do percurso.

Em primeiro lugar, foram determinados quais os aspetos a ter em conta ao longo da elaboração do projeto. Estes contemplavam várias áreas, como acústica, ergonomia, segurança, economia e design. Em seguida foram desenvolvidos os equipamentos que se consideraram essenciais para uma boa utilização da sala de aula.

Os painéis de absorção acústica foram os primeiros componentes a ser desenvolvidos. Para tal, foi necessário estudar quais as dimensões médias dos equipamentos em que seriam inseridos (mesas, cadeiras e armários). Foi também essencial averiguar quais os materiais a integrar nestes (a escolha dos materiais relacionou-se diretamente com os coeficientes de absorção dos mesmos nas várias gamas de frequência). Desta forma, concluiu-se que os materiais a utilizar nos painéis seriam o aglomerado de cortiça, a manta acústica e a espuma de poliuretano (para absorção de altas frequências), assim como a construção de membranas ressonantes com contraplacado com 16,5% de perfuração e lã de rocha (para absorção das médias frequências). Determinou-se também que a base que sustenta todo o painel seria executada num derivado de madeira (aglomerado ou contraplacado), de forma a sustentar o encaixe dos componentes e a facilitar a sua fixação aos equipamentos. Depois de elaborados alguns desenhos, determinaram-se quais as melhores soluções

a desenvolver, concluindo-se que era viável desenhar dois tipos de painéis, em que um deles teria uma maior eficácia (e também uma maior diversidade de materiais), e o outro seria uma versão mais económica (com componentes maiores e menor variedade de materiais). Surgiram então a “linha lápis” – em que os seus componentes se inspiraram no empilhar de lápis de forma hexagonal – e a linha “low cost” – que se baseia na desconstrução do hexágono de forma a criar peças com maiores dimensões e mais fáceis de executar.



**Ilustrações 34.1 e 34.2** – Modelação tridimensional de novos equipamentos - painéis, linhas “lápis” e “low cost”.

Fonte: autor.

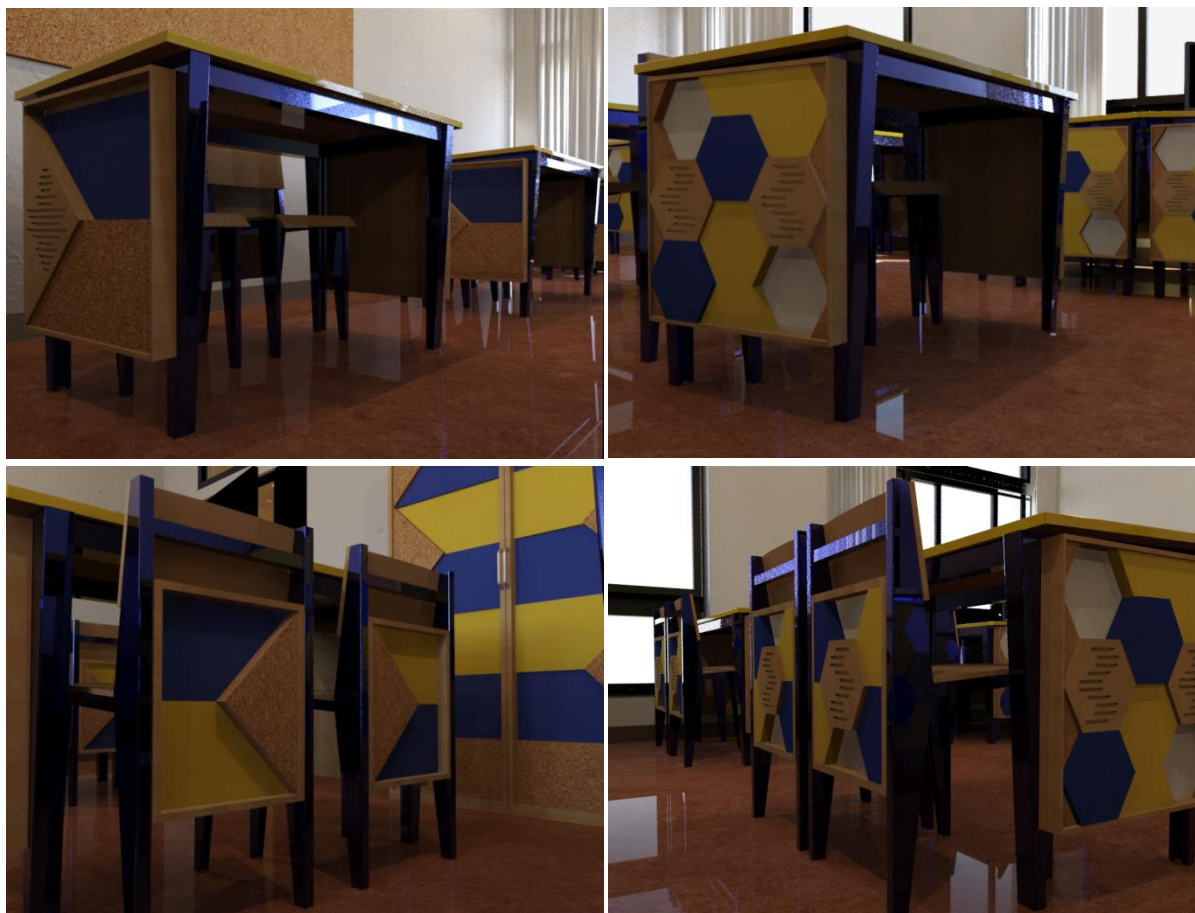
Para permitir a aplicabilidade dos painéis em equipamentos existentes, optou-se pela possibilidade de utilização de algumas ferragens existentes no mercado. Estas garantem a união dos tubos que constituem as pernas das mesas e das cadeiras às laterais dos painéis. Uma vez que os tamanhos de mesas e cadeiras se encontram bastante estandardizados, as furações necessárias no painel não sofrerão grandes alterações, sendo por isso possível a aplicação destes painéis e destas ferragens a vários modelos de equipamentos existentes. Estas ferragens (nomeadamente abraçadeiras e sistemas próprios para fixação de painéis) são os mais indicados uma vez que permitem o cumprimento da função sem por em causa a segurança ao longo do uso do equipamento, uma vez que todos os componentes são apenas desmontáveis recorrendo ao uso de ferramentas.



**Ilustração 35** – Sistema de fixação para painéis das mesas, a aplicar em equipamento existente.

Fonte: Hettich.

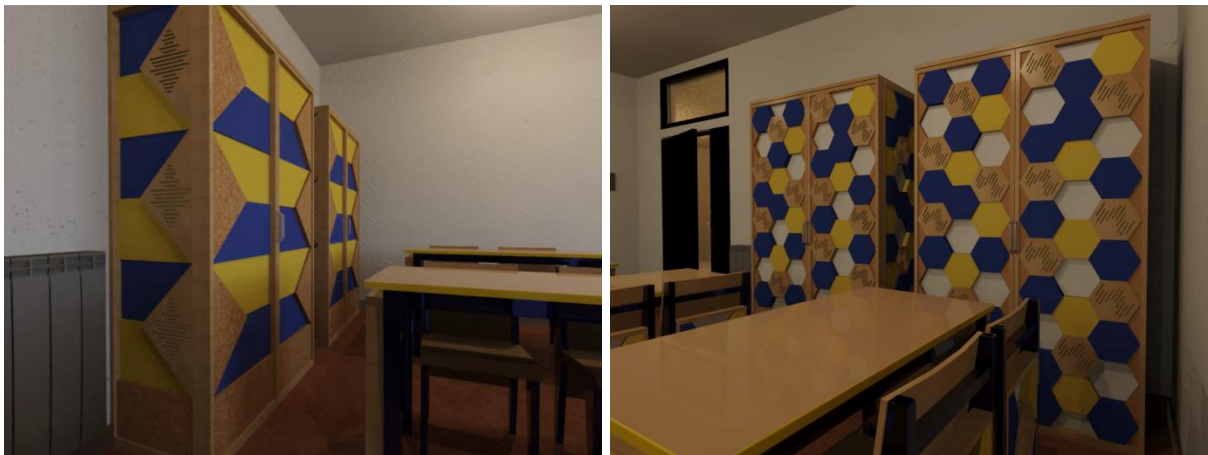
Os casos das mesas e cadeiras foram trabalhados com maior rigidez, uma vez que eram os componentes que se relacionavam diretamente com o conforto do utilizador no local de trabalho. Uma vez que estes equipamentos foram desenhados para uma faixa etária específica, exigiam também outro tipo de cuidados, sendo por isso necessário a análise pormenorizada da norma EN 1729. Através da leitura desta norma, foram determinadas as dimensões destes dois equipamentos. Com o apoio de outros referenciais, foi possível tomar uma decisão relativamente aos materiais a utilizar. Relativamente às estruturas, sabia-se que, à partida, deveriam ser acima de tudo resistentes e duráveis, não descurando os fatores económico e ecológico. Assim, optou-se pela utilização do metal para as estruturas. Graças ao desenho escolhido para cada uma das peças, optou-se por recorrer à chapa metálica, para que seja possível quinar os componentes. O acabamento destas é lacado, sendo a proposta da coloração para este modelo a cor azul da instituição (cor hexadecimal #232d82). No caos do tampo das mesas, pretendia-se que cumprisse alguns requisitos, como ser de um material de alguma dureza e resistência, mas que proporcionasse ao utilizador o devido conforto. Desta forma, optou-se pela utilização do aglomerado de madeira, com acabamento em folha de faia (que permite um acabamento de cor clara à superfície, possibilitando a reflexão da luz). Nas faces laterais do tampo, optou-se pelo acabamento orlado (uma vez que é mais económico), cuja coloração remete também às cores da instituição de ensino a que se destina o equipamento (cor hexadecimal #fcb825). Já para o encosto e o assento das cadeiras, recorreu-se a modelos existentes no mercado, em contraplacado moldado e acabamento em folha de faia, garantindo não só alguma resistência ao equipamento, mas também conforto ao utilizador. A mesa tem ainda a particularidade de ter o tampo ligeiramente inclinado, de forma a desviar as ondas sonoras emitidas pelos alunos para o teto, sem inviabilizar a utilização da mesa para apoiar os pertences ou escrever.



**Ilustrações 36.1 a 36.4** – Modelação tridimensional de novos equipamentos - mesas e cadeiras, linhas “low cost” e “lápiz”.

Fonte: autor.

No desenho do armário houve uma maior liberdade de execução, uma vez que não exigia a leitura de regulamentação muito específica. Desta forma, foram analisados outros modelos de armários existentes no mercado e desenhados de forma a poder integrar a colocação dos componentes absorvedores sem utilização das madeiras de forma (tornando, por consequência, o produto mais leve e mais económico). As dimensões foram semelhantes a outros equipamentos da mesma tipologia, mas tendo em atenção a colocação dos módulos de absorção acústica das duas linhas, “lápiz” e “low cost”. O material escolhido para o equipamento foi o aglomerado de madeira, de forma a torna-lo mais fácil de construir e com racionalização de custos.



**Ilustrações 37.1 e 37.2** – Modelação tridimensional de novos equipamentos - armário, linhas “low cost” e “lápiz”.

Fonte: autor.

O processo de desenho da luminária foi de alguma complexidade, dadas as exigências não só acústicas, como também de intensidade luminosa exigida para o espaço. Posto isto, foi necessário determinar quais os materiais mais adequados a utilizar na conceção da luminária. Por um lado, o material principal deveria fazer uma boa absorção acústica, mas deveria também ser leve (assegurando a sua sustentação por tetos falsos, por exemplo) e não sofrer deformações com o calor. Assim, o material que melhor se adequou a estas necessidades foi a cortiça. Contudo, para uma boa reflexão da luz, recomendava-se o uso de um material refletor no interior da luminária. Para este caso, optou-se por um revestimento interior da peça com uma chapa de aço polido. A forma escolhida relaciona-se com os restantes equipamentos, tendo sido desenhada uma luminária para cada linha.



**Ilustrações 38.1 e 38.2** – Modelação tridimensional de novos equipamentos - luminárias, linhas “lápiz” e “low cost”.

Fonte: autor.

Como já foi referido, a luminária não foi contabilizada para o cálculo do tempo de reverberação na sala após intervenção, pela incerteza da interferência que a chapa metálica que faz a reflexão da luz fará na reflexão das ondas sonoras.

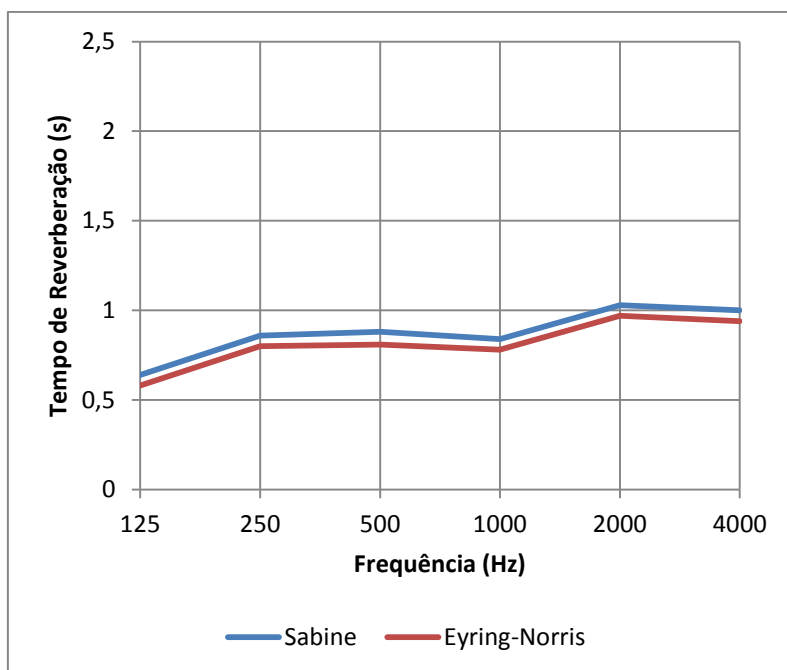
Após a elaboração dos equipamentos e justificados todos os procedimentos e decisões, passou-se à fase de validação, de forma a averiguar a eficácia dos equipamentos projetados.

## 12.7. Validação

Após o processo de desenvolvimento dos equipamentos a inserir na sala de aula em estudo, foi necessário fazer a medição das consequências na variável dependente após a alteração da variável independente. No fundo, foi necessário voltar a estudar a sala modelo de forma a averiguar qual o efeito provocado através da alteração do mobiliário e qual a sua eficácia comparativamente às condições acústicas da sala antes da intervenção.

Desta forma, e recorrendo mais uma vez, aos modelos matemáticos referentes ao cálculo da reverberação de uma sala (e considerando a fórmula mais precisa, a de Eyring-Norris), o processo foi repetido para as duas vertentes de painéis, “low cost” e “lápiz”, que pelas suas propriedades expecta-se que sejam obtidos resultados diferentes.

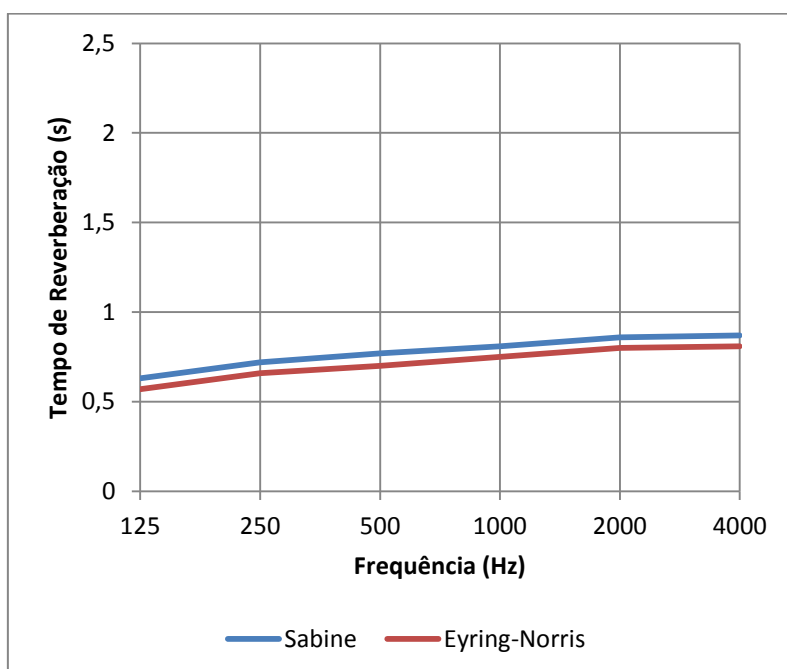
No caso dos equipamentos com painéis da linha “low cost”, e através da análise do gráfico 8, pode-se constatar que a diminuição do tempo de reverberação foi bastante significativa. A frequência que outrora era a mais elevada das gamas estudadas (1000 Hz), diminuiu drasticamente para um valor inferior a 0,8 segundos. As altas frequências, que anteriormente se situavam em valores entre 1,6 e 2 segundos, encontram-se abaixo de 1 segundo. As baixas frequências (125, 250 e 500 Hz) têm, com a aplicação desta linha de mobiliário, valores que se situam entre os 0,58 e os 0,81 segundos. Uma vez que esta linha se caracteriza por uma melhoria na acústica da sala de forma mais económica (não só a nível de custo, mas também na utilização dos materiais e produção), era expectado que os resultados fossem satisfatórios, mas não os ideais.



**Gráfico 8** – Tempo de reverberação da sala (sem ocupação) em várias gamas de frequência, com a aplicação de equipamentos da linha “low cost”.

Fonte: Márcio Ferreira, colaborador do projeto.

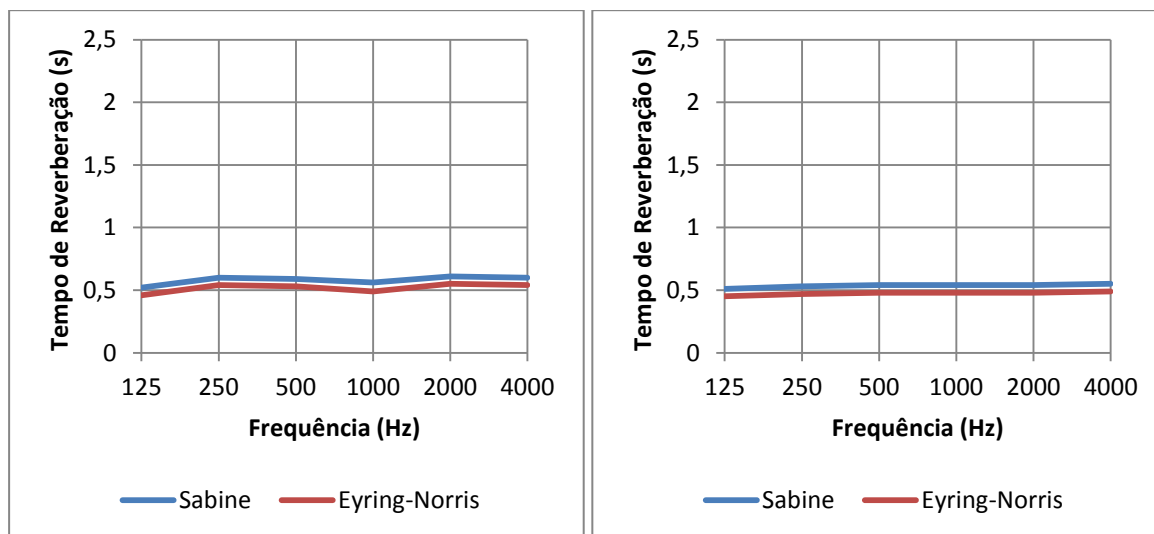
Já na medição do tempo de reverberação da sala de aula equipada com mobiliário com as aplicações da linha “lápiz”, os resultados são um pouco diferentes. Através da utilização de diferentes materiais (neste caso a espuma de poliuretano), reflete-se nos resultados obtidos. Como se pode observar no gráfico 9, o tempo de reverberação em todas as gamas de frequência se encontram abaixo de 0,81 segundos e estão absorvidos de forma quase regular. Também neste caso, as frequências mais baixas (125, 250 e 500 Hz) são as que obtêm melhores resultados, todos abaixo de 0,7 segundos. Desta forma, constata-se que esta linha é, como esperado, mais eficiente que a linha analisada anteriormente. Uma vez que a diversidade de materiais é maior, a absorção das frequências consegue assim ser mais uniforme e, conseqüentemente, mais eficaz.



**Gráfico 9** – Tempo de reverberação da sala (sem ocupação) em várias gamas de frequência, com a aplicação de equipamentos da linha “lápiz”.

Fonte: Márcio Ferreira, colaborador do projeto.

Se considerarmos a sala com ocupação de 24 alunos e o professor, pode observar-se nos gráficos 10 e 11, que os valores de reverberação são ainda inferiores, comparativamente aos da mesma sala vazia. Assim, observa-se que, com a sala em utilização, o tempo de reverberação é bastante satisfatório tanto na linha “low cost” (em que a reverberação é igual ou inferior a 0,55 segundos em todas as gamas de frequência estudadas) como na linha “lápiz” (em que a reverberação é igual ou inferior a 0,49 segundos em todas as gamas de frequência).



**Gráficos 10 e 11** – Tempo de reverberação da sala (com ocupação de 25 pessoas) em várias gamas de frequência, com a aplicação de equipamentos da linha “low cost” e “lápiz”.

Fonte: Márcio Ferreira, colaborador do projeto.

## 13. Conclusões

A concretização do presente trabalho de projeto permitiu uma aprofundada reflexão no que trata o desenvolvimento de novos conhecimentos na área do design em associação a um outro parâmetro que se afasta do conforto visual, normalmente evidenciado em projetos desta natureza, enfatizando a importância do conforto auditivo no desempenho de tarefas diárias.

Esta investigação abarcou vários assuntos, necessários à compreensão do trabalho de projeto que se lhe seguiu. Iniciando-se por um enquadramento do problema, foi possível compreender como funcionam, na teoria, os fenómenos físicos associados à propagação do som. Seguiram-se os fundamentos, que aprofundaram os conceitos associados à acústica arquitetónica e à psicoacústica. Respondendo à pertinência da questão, foram estudadas as consequências do desconforto auditivo na área de intervenção, sendo possível salientar as interferências existentes não só na inteligibilidade da fala do professor, como também no processamento auditivo por parte dos alunos.

Estando definidos os conceitos iniciais associados à acústica, foi necessário analisar o que fora estudado até então. Este estudo resultou no estado da arte, onde se compreende como decorreu a evolução do estudo da acústica até ao presente. Complementando este ponto, foi efetuado o estudo de mercado, que abrangeu não só as soluções de acondicionamento acústico através de painéis, mas também através de mobiliário. Paralelamente, foram estudadas empresas prestadoras de vários serviços que apresentam uma postura de valorização da acústica. Por último, o estudo de mercado incidiu nas empresas que se designam como concorrentes diretos, por desenvolverem produtos semelhantes aos projetados (ou seja, de equipamento escolar).

De forma a terminar a fase inicial de investigação, foram abordados mais dois capítulos, em que um deles aprofundou os conhecimentos associados à acústica de salas e o outro foi composto por uma análise de diversos materiais e as suas características (essencialmente qual a função de cada material perante a propagação sonora).

Após uma sólida definição de conceitos e maturação dos conhecimentos adquiridos, passou-se ao trabalho de projeto propriamente dito. Elaborou-se o estudo da legislação existente, no que se refere a dimensionamentos de salas e de equipamentos, parâmetros de segurança e requisitos acústicos em edifícios. Desta análise resultaram levantamentos do equipamento necessário e que deveria ser alvo de intervenção e dimensões normalizadas, assim como uma maior consciência de quais as expectativas para os equipamentos a desenhar. Através desta análise, foi possível constatar que apesar de existirem normalizações e regulamentos que

recomendam tempos de reverberação aceitáveis, estes nem sempre são seguidos, resultando em espaços desconfortáveis acusticamente. Para o desenvolvimento dos equipamentos, recorreu-se a uma sala de um estabelecimento escolar existente, sendo feito o seu levantamento dimensional, de equipamentos e efetuado o estudo acústico da sala, onde foi possível perceber que o espaço precisava efetivamente de uma intervenção na área do conforto auditivo.

Posteriormente, foi então elaborado o relatório da metodologia projetual, de forma a ser possível compreender todos os processos, tomadas de decisão e elaboração de todos os elementos necessários à boa perceção do projeto. Toda a investigação culmina na respetiva validação, em que é feita a medição das consequências da intervenção do espaço em estudo.

Relativamente aos resultados obtidos, foi possível extrair algumas conclusões a que se procurava chegar com este projeto. Em primeiro lugar, constatou-se que algumas salas de aula poderão não estar adequadas para uma eficaz prática de ensino, principalmente em edifícios mais antigos. Derivado do resultado obtido no estudo acústico da sala-modelo antes da intervenção, averigua-se que o tempo de reverberação desta é bastante superior ao regulamentado do RRAE, situando acima dos referidos 0,74s em cinco das seis gamas de frequência avaliadas. No caso mais crítico (1000Hz), o tempo de reverberação é mais do dobro do valor permitido, situando-se nos 2,03s.

Tendo sido desenvolvidas duas linhas de painéis (que conseqüentemente originaram duas linhas de mobiliário), e ao proceder-se à análise dos resultados em ambas as vertentes desenhadas, pôde confirmar-se que as alterações à acústica do espaço foram significativas. No caso da linha mais económica, conseguiram-se resultados inferiores, estando abaixo do regulamentado apenas numa das seis gamas de frequência estudadas. Apesar disso, todos os valores se situam abaixo de 1s e, no caso da sala com ocupação, os valores situam-se todos abaixo de 0,55s. No caso da linha mais eficaz, desenhada com uma maior diversidade de materiais, três das seis gamas de frequência possuem valores abaixo dos 0,74s e todos os valores se encontram abaixo dos 0,81s. No caso de considerar a sala com ocupação do professor e dos alunos, os valores dos tempos de reverberação nas seis gamas de frequência estudadas situam-se entre os 0,45s e 0,49s, estando, neste caso, a reverberação num nível excelente.

Os resultados obtidos aproximam-se mais do que está regulamentado em Portugal. No caso da sala em uso, todos os valores são inferiores e a melhoria acústica do espaço excede as expectativas, confirmando a hipótese reformulada inicialmente.

Desta investigação destacam-se alguns aspetos relevantes. Atentamos que foi possível encontrar uma solução para o problema definido inicialmente, sendo esta a mais importante conclusão a retirar desta investigação. Foi igualmente importante dar a conhecer o valor da acústica, que contribui em muito para o conforto do Homem no dia-a-dia, com repercussões a nível da saúde, educação, produtividade e qualidade

de vida no geral. Um outro aspeto positivo a retirar foi o facto de ter sido possível estudar que a resolução pode ser feita de uma outra perspetiva, não se limitando apenas à alteração de elementos estruturais do próprio edifício (pela alteração de pavimentos ou tetos) ou unicamente pela aplicação de painéis acústicos, mas sim pela implementação de uma linha de equipamentos multifuncionais.

No decorrer da sua execução, encontraram-se também algumas dificuldades. A fase de pesquisa foi bastante exigente, por referenciar conceitos que não são do domínio de um designer, sendo por isso necessário elaborar uma profunda investigação de temas como propagação sonora ou acústica de salas. O desenvolvimento de um equipamento para uma faixa etária específica e para um ambiente de cariz público exigiu uma vasta investigação ao nível de legislação e, na falta desta, de diversos referenciais técnicos elaborados pelo Governo de Portugal que nem sempre foram de acesso fácil. A variedade de fatores a ter em conta foi bastante diversificado, resultando num desenvolvimento de projeto bastante rigoroso. Contudo, acreditamos que são as dificuldades que constituem um crescimento pessoal e profissional mais sólido e que nos trará no futuro uma grande utilidade.

Consideramos que a metodologia de investigação implementada no desenvolvimento do projeto foi a mais adequada. Através de uma investigação ativa foi possível uma ampla visão do problema, tendo sido permitido um estudo de caso em que foram reconhecidas as variáveis dependente e independente. Através da implementação hipotética do projeto a uma sala existente, foi possível efetuar as medições das variáveis na sala antes da intervenção, executar as alterações que se consideraram necessárias e medir as consequências das mesmas, sustentando parte da investigação em modelos matemáticos existentes.

O culminar da investigação resultou na corroboração da solução encontrada para o problema definido. Assim, confirma-se que a excessiva reverberação nas salas de aula pode ser melhorada através da implementação de mobiliário com determinadas características e utilizando materiais específicos, que efetuem a absorção das ondas sonoras.

Relativamente à hipótese formulada inicialmente, esta foi verificada. Através da análise de ambientes escolares dos ciclos de estudo referidos, pode constatar-se que existem problemas na acústica das salas de aula e que interferem com a qualidade do ensino. A implementação de mobiliário com características acústicas melhora o tempo de reverberação do espaço, contribuindo para um maior conforto auditivo e que se confirmou através da validação do projeto, efetuada com cálculos dos tempos de reverberação da sala após a intervenção nas várias gamas de frequência.

Pode concluir-se também que foram alcançados os objetivos inicialmente propostos. O principal objetivo da investigação era conseguir responder a um problema existente, procurando compreender se o mobiliário poderia ser um meio de intervenção na melhoria do conforto acústico. De elevada relevância foi ainda a pluridisciplinaridade que foi exigida para a abordagem do projeto com sucesso. A

parceria entre designers e outros profissionais é cada vez mais importante e produz resultados de elevada qualidade. Permite o cruzamento de conhecimentos adquiridos em várias áreas, clarifica a existência de problemas associados ao Homem, proporciona diversas soluções e perspectivas que conhecimentos de uma só pessoa não possibilitariam. Através da elaboração do projeto, considera-se igualmente que foi comprovado que o design pode adquirir um elevado valor na melhoria da qualidade de vida dos seus utilizadores, inclusive de questões e problemáticas que não são detetáveis à vista, mas sim ligados a outros meios sensoriais. O resultado final constituiu o presente trabalho de projeto, que a nosso ver enriquece o património intelectual do meio académico. O estudo do design e do som abre portas a futuras investigações que se considerem pertinentes na área da acústica de salas e do design de interiores e de equipamento.

Consideramos que este projeto é um importante contributo não só para o meio académico, mas também para o conhecimento empírico. No meio académico, julgamos que esta investigação poderá contribuir para o enriquecimento de futuros projetos de design, uma vez que foi validado o recurso a mobiliário com acondicionamento acústico para a melhoria de espaços interiores. No caso do conhecimento empírico, refletimos que este estudo pode contribuir para a evolução da indústria da produção de mobiliário, uma vez que a sua aplicação prática resolve questões associadas ao conforto e pode ainda ser expandido a outros espaços funcionais (dado que este problema não é específico somente no meio escolar).

Ao chegar à etapa final deste projeto, reconhecemos que este é apenas um pequeno passo para aquilo que poderá ser uma evolução a vários níveis. Por isso, é importante que deixemos também algumas recomendações futuras aos interessados na matéria e que poderão ajudar na continuidade e desenvolvimento de mais projetos que associem estas duas áreas de conhecimento.

Concluiu-se que com esta intervenção, pelos problemas que procura resolver e pela sua validação positiva, deverá ser tida em conta, considerando-se também um possível alargamento dos conhecimentos a outras áreas funcionais. Atualmente, existem ainda muitos espaços em que o conforto acústico é descurado e em que se ganharia qualidade se fosse pensada uma intervenção desta natureza. Exemplos disso são o possível tratamento de equipamentos para escritórios (em que é crucial aumentar a produtividade dos trabalhadores), hospitais (procurando melhorar blocos operatórios e salas de recobro) ou outros espaços públicos (como cafés e restaurantes).

A concretização deste projeto foi para nós uma mais-valia, na medida em que contribuiu para a evolução do design e deu resposta a um problema existente. Apesar do seu percurso ter sido constituído por algumas dificuldades, sabemos que são essas que mais nos auxiliaram a solidificar o processo de aprendizagem, maturação do método de trabalho e a nós próprios enquanto pessoas e profissionais. Expectamos que o nosso contributo traga futuramente resultados que fomentem a

pluridisciplinaridade e que melhorem não só o conforto humano como também o recurso ao design como meio de resolução de problemas que se afastem da componente visual para abordar outras questões mais profundas.



## 14. Pistas de desenvolvimento futuro

O desenvolvimento do presente projeto, pela sua abrangência, permitiu ainda deixar em aberto algumas possibilidades que poderão possibilitar o desenvolvimento de outros projetos tendo por base as ideias e pistas por nós deixadas. Este trabalho permite igualmente a possibilidade de continuidade. Pelos resultados inconclusivos obtidos no desenvolvimento da luminária, atentamos que esta é uma área que pode ser mais explorada, procurando compreender de que modo a forma da luminária poderá interferir na reflexão das ondas sonoras e luminosas (e se é possível conceber uma solução em que se melhore substancialmente a performance a ambos os níveis).

Outra forma de incentivar o desenvolvimento das áreas da acústica, engenharia e design poderia passar pela intervenção ao nível do estudo dos materiais. Embora se verifique que os materiais estão constantemente em evolução, por forma a resolver problemas associados ao meio ambiente, racionalização dos recursos ou desenvolvimento de tecnologias, seria essencial para este projeto e outros que lhe sucedam um aprofundamento do estudo dos coeficientes de absorção de mais materiais. Embora existam empresas que possuam soluções que procuram resolver problemas de isolamento e absorção acústica, não existem dados (nomeadamente coeficientes de absorção para as várias gamas de frequência) que comprovem a eficácia das mesmas. Desta forma, este estudo tornaria mais rigoroso o estudo acústico dos materiais a aplicar nos equipamentos, assim como demonstraria com maior clareza quais os materiais mais eficazes a aplicar em cada caso.

## 15. Referências Bibliográficas

**Architectural Acoustics.** In The Free Dictionary. [Em linha]. 2013. [Consultado a 1-Abril-2013] Disponível em: <<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Architectural+Acoustics>>

**Elementos em comunicação.** In Formação. [Em linha]. [Consultado a 22-Março-2013] Disponível em: <[http://formacao.atwebpages.com/4\\_2\\_1\\_elementos\\_comunicacao.htm](http://formacao.atwebpages.com/4_2_1_elementos_comunicacao.htm)>

**Enciclopédia Verbo Luso-Brasileira de Cultura, vol. 9.** Lisboa: Editorial Verbo, 1999. ISBN 972-22-1942-1.

**Pizza Express by Baynes & Co Designers, Plymouth.** In Retail Design Blog. [Em linha]. [Consultado a 16-Março-2013] Disponível em: <<http://retaildesignblog.net/2012/01/18/pizza-express-by-baynes-co-designers-plymouth/>>

**The Building.** In Royal Albert Hall. [Em linha]. [Consultado a 04-Junho-2013] Disponível em: <<http://www.royalalberthall.com/about/building/default.aspx>>

**The Cave Restaurant by Koichi Takada Architects.** In Contemporist. [Em linha]. [Consultado a 16-Março-2013] Disponível em: <<http://www.contemporist.com/2010/04/06/the-cave-restaurant-by-koichi-takada-architects/>>

ABNT – NBR 5413. 1992. Iluminância de Interiores. [Em linha]. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 13 p. [Consultado a 18-Setembro-2013]. Disponível em: <<http://www.labcon.ufsc.br/anexos/13.pdf>>

ACUSTICA, Arau – **Acoustics of Enclosed Spaces: Architectural Acoustics.** In Arau Acustica. [Em linha]. [Consultado a 05-Abril-2013] Disponível em: <[http://www.arauacustica.com/files/publicaciones\\_relacionados/pdf\\_esp\\_78.pdf](http://www.arauacustica.com/files/publicaciones_relacionados/pdf_esp_78.pdf)>

ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA – **Classroom Acoustics.** [Em linha]. 2000. [Consultado a 19-Março-2013] Disponível em: <<http://www.nonoise.org/quietnet/qc/booklet.htm>>

AGORAPHIL – **AGORaphil Acoustic Furniture/Interior.** In AGORaphil. [Em linha]. Dresden. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em: <<http://www.donatus-werke.de/en/interior/>>

ALMEIDA, Traça de – Utilização Eficiente de Energia em Iluminação [Projeção visual]. [Em linha]. 71 Diapositivos. Apontamentos da disciplina de Gestão de Energia Elétrica do curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Acessível na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal. [Consultado a 18-Setembro-2013]. Disponível em: <<http://lge.deec.uc.pt/ensino/gee/aulas%20teoricas/iluminacao.PDF>>

AMORIM – **Dossier Info Cortiça – Design cork, for future, innovation and sustainability.** In Amorim. [Em linha]. Dezembro de 2006. [Consultado a 30-Maio-2013] Disponível em: <[http://www.amorim.com/xms/files/CorticeiraAmorim/Noticias/Susdesign\\_DossierInfoCortica.pdf](http://www.amorim.com/xms/files/CorticeiraAmorim/Noticias/Susdesign_DossierInfoCortica.pdf)>

APRÈS – **About Après.** In Après Furniture. [Em linha]. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em: <<http://www.apresfurniture.co.uk/about-us/>>

APRÈS – **Acoustic Wall Panels**. In Après Furniture. [Em linha]. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em: <<http://www.apresfurniture.co.uk/furniture/soundwave-acoustic-wall-panels.html?p=1>>

AUDIMUTE – **Audimute Soundproofing Newsletter September 2012**. In Audimute Soundproofing. [Em linha]. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em: <<http://www.audimutesoundproofing.com/newsletter-09-2012.html>>

AURALEX – **The History of Auralex**. In Auralex Acoustics. [Em linha]. 1991-2012. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em: <[http://www.auralex.com/auralex\\_acoustics\\_history/auralex\\_acoustics\\_history.asp](http://www.auralex.com/auralex_acoustics_history/auralex_acoustics_history.asp)>

BAYNES – **Pizza Express – The Barbican Leisure Park – Plymouth**. In Baynes & Co. [Em linha]. [Consultado a 16-Março-2013] Disponível em: <<http://www.baynesandco.com/>>

BOAVISTA, Janelas – **Fibra de Vidro**. In Janelas Boavista. [Em linha]. Porto. [Consultado a 19-Abril-2013] Disponível em: <<http://www.janelasboavista.com/>>

CALVETE, Marcelo – **V. Os materiais compósitos e os seus processos transformativos**. [Projeção visual]. [2012]. 99 Diapositivos. Apontamentos da disciplina de Novos Materiais e Novas Tecnologias do curso de Design de Interiores. Acessível na Escola Superior de Artes Aplicadas, Castelo Branco, Portugal.

CTGA – **Transmissão, absorção e reflexão do som**. In Curso Técnico de Gestão do Ambiente. [Em linha] 2009. [Consultado a 22-Março-2013] Disponível em: <<http://chamuscambiental.blogspot.pt/2009/10/transmissao-absorcao-e-reflexao-do-som.html>>

DOMINGUES, Odete – **A Acústica de Edifícios – Materiais e Sistemas absorventes sonoros: Coeficientes de absorção sonora**. 5ª Edição. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010. ISBN 978-972-49-2053-5.

DREOSSI, Raquel Cecília Fischer; MOMENSOHN-SANTOS, Teresa – **O Ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula: revisão de literatura**. Pré-Fono Revista de Atualização Científica [Em linha]. Vol. 17, nº 2. Mai/Ago 2005, p. 251-258. [Consultado a 18-Março-2013] Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pfono/v17n2/v17n2a13.pdf>>

EQUIPEX – **Sobre a Equipex**. In Equipex. [Em linha] Lisboa: 2002. [Consultado a 27-Agosto-2013] Disponível em: <<http://www.equipex.pt/primeira.html>>

ETHERINGTON, Rose – **Living Lab by Ab Rogers for Pizza Express**. In Dezeen Magazine. [Em linha]. 2006-2012. [Consultado a 16-Março-2013] Disponível em: <<http://www.dezeen.com/2011/01/05/living-lab-by-ab-rogers-for-pizza-express/>>

FERREIRA, Mácio Rafael – **Móveis Acústicos**. 2012. 48 f. Monografia de Licenciatura em Música – variante de Música Eletrónica e Produção Musical. Acessível na Escola Superior de Artes Aplicadas de Castelo Branco.

FERREIRA, Mácio Rafael – **Móveis Acústicos: Condensação, Optimização e Validação**. 2012. 72 f. Monografia de Licenciatura em Música – variante de Música Eletrónica e Produção Musical. Acessível na Escola Superior de Artes Aplicadas de Castelo Branco.

GONÇALVES, Valéria de Sá Barreto; SILVA, Luiz Bueno da; COUTINHO, António Souto – **Ruído como agente comprometedor da inteligibilidade da fala dos professores**. Produção [Em linha]. Vol. 19,

nº 3. Set/Dez 2009, p. 466-476. [Consultado a 18-Março-2013] Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/prod/v19n3/05.pdf>>

GROZDANIC, Lidija – **Resonant Chamber is an Acoustically Responsive Envelope**. In eVolo Magazine. [Em linha]. 2006-2012. [Consultado a 11-Abril-2013] Disponível em: <<http://www.evolo.us/architecture/resonant-chamber-is-an-acoustically-responsive-envelope/>>

HENRIQUE, Luís L. – **Acústica Musical**. 2ª Edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2007. ISBN 978-972-31-1212-2.

HOWARD, David M.; ANGUS, Jamie A.S. **Acoustics and Psychoacoustics**. 4<sup>th</sup> ed. Oxford: Elsevier Ltd, 2009. ISBN 978-0-240-52175-6

IIDA, Itiro. **Ergonomia – Projeto e Produção**. 2ª Edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2005. ISBN 85-212-0354-3.

IPQ – EN 1729-1. 2012. Furniture – Chairs and tables for educational institutions – Part 1: Functional dimensions. Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 36 p.

IPQ – EN 1729-2. 2012. Furniture – Chairs and tables for educational institutions – Part 2: Safety requirements and test methods. Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 23 p.

LONG, Marshall. **Architectural Acoustics**. Oxford: Elsevier Ltd, 2006. ISBN 978-0-12-455551-8

MILLER, James D. – **Effects of Noise in People**. [Em linha]. Washington: Central Institute for the Deaf, 1971. [Consultado a 03-Abril-2013] Disponível em: <[MIYAKE, Arihiro – \*\*Fort\*\*. In Studio Arihiro Miyake. \[Em linha\]. \[Consultado a 16-Março-2013\] Disponível em: <<http://www.arihiromiyake.com/>>](http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/91019R7C.PDF?ZyActionP=PDF&Client=EPA&Index=Prior%20to%201976&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C70THRU75%5CTXT%5C0000019%5C91019R7C.txt&Query=&SearchMethod=1&FuzzyDegree=0&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&QField=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&Docs=></a>></p></div><div data-bbox=)

MOBAPEC – **Quem Somos**. In Mobapec. [Em linha]. [Consultado a 27-Agosto-2013] Disponível em: <<http://www.mobapec.pt/qsomos.asp>>

NAUTILUS – **Empresa**. In Nautilus. [Em linha] 2011. [Consultado a 27-Agosto-2013] Disponível em: <<http://www.nautilus.pt/index.php>>

NEUFERT, Ernst. – **Arte de projetar em arquitetura: princípios, normas e prescrições sobre construção, instalações, distribuição e programa de necessidades, dimensões de edifícios, locais e utensílios**. Tradução da 21ª Edição Alemã. 5ª Edição. São Paulo: Gustavo Gili, 1976. ISBN 84-252-1691-5.

NORTESCOLAR – **Empresa**. In Nortescolar. [Em linha] 2010. [Consultado a 27-Agosto-2013] Disponível em: <<http://www.nortescolar.pt/empresa.html>>

PAULI, Ronald Ulysses; MAUAD, Farid Carvalho; SIMÃO, Cláudio. **Física Básica 3 – Ondas, Acústica e Óptica**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Lda, 1980. ISBN 8512235306.

OFFICE, Urban – **Office Acoustics**. In Urban Office Interiors. [Em linha]. [Consultado a 16-Março-2013] Disponível em: <<http://www.urban-office.com/acousticsscreens.html>>

PE – **Manual de Projeto: Arquitetura**. In Parque Escolar, Programa de Modernização das Escolas do Ensino Secundário. [Em linha]. Lisboa: Parque Escolar, 2009. [Consultado a 4-Junho-2013] Disponível em: <<http://www.parque-escolar.pt/pt/programa/manual-projeto-arquitetura.aspx>>

PEREIRA, Joana Ramos – **Design e Música: Presença do som no Design**. 2011. 145 f. Dissertação de Mestrado em Design de Equipamento – Estudos de Design. Acessível na Faculdade de Belas-Artes da Universidade de Lisboa.

PORTELA, Marcelo – **Materiais Acústicos: Conceitos para Acústica Arquitetónica**. In Laboratório de Conforto Ambiental. [Em linha]. [Consultado a 8-Abril-2013]. Disponível em: <<http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/390.pdf>>

PORTUGAL, Ministério da Educação – Despacho conjunto n.º 08/RE/2009 de 11 de Agosto. **Referenciais técnicos para conceção/construção de escolas básicas (2º e 3º ciclos)**. Faro: Rede Escolar.

PORTUGAL, Ministério da Educação – **II – Alguns referenciais técnicos para a construção /ampliação /requalificação de escolas na perspetiva do Centro Escolar**. In Programa Centro Escolar. [Em linha] Lisboa: Ministério da Educação, 29 p. [Consultado a 02-Junho-2013]. Disponível em: <<http://www.centroescolar.min-edu.pt/np4/programa>>

PORTUGAL, Ministério da Educação – **Apetrechamento dos Centros Escolares – Anexo I**. In Mais Centro, Programa Operacional Regional do Centro. [Em linha]. Coimbra. [Consultado a 10-Maio-2013] Disponível em: <<http://maiscentro.qren.pt/private/admin/ficheiros/uploads/Fichas%20Anexo%20I-%20apetrechamento%20rede%20escolar.pdf>>

PORTUGAL, Ministério da Educação – **Apetrechamento dos Centros Escolares – Referenciais técnicos para Mobiliário Escolar e Listagens de Referência para Material Didático e Equipamento Informático**. In Mais Centro, Programa Operacional Regional do Centro. [Em linha]. Lisboa: Ministério da Educação, 2008. [Consultado a 25-Maio-2013] Disponível em: <<http://maiscentro.qren.pt/private/admin/ficheiros/uploads/apetrechamento%20dos%20centros%20escolares.pdf>>

PORTUGAL, Ministério da Educação – **Referenciais técnicos para concepção/construção de Escolas Básicas (2º e 3º ciclos)**. Lisboa: Ministério da Educação, 2009. Referencial facultado pela Direção-Geral de Estabelecimentos Escolares, Direção de Serviços da Região Centro.

PORTUGAL, Ministério da Educação e Ciência – **Lista de empresas de mobiliário**. In Rede de Bibliotecas Escolares. [Em linha]. Lisboa: Ministério da Educação e Ciência. [Consultado a 27-Agosto-2013] Disponível em: <[http://www.rbe.min-edu.pt/np4/file/132/lista\\_empresas\\_mobiliario.pdf](http://www.rbe.min-edu.pt/np4/file/132/lista_empresas_mobiliario.pdf)>

PORTUGAL, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional – Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho. **Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios**. Lisboa: Diário da República 1ª série. 110 (2008-06-09), p. 3359-3372.

PRIMACOUSTIC – **About Primacoustic**. In Primacoustic. [Em linha]. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em: <<http://www.primacoustic.com/about.htm>>

PROOF – **About us**. In Prooff. [Em linha]. Rotterdam. 2006-2013. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em: <<http://www.prooff.com/about-us>>

RESPACE – **Interior Acoustic Solutions**. In ReSpace Acoustics. [Em linha]. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em: <<http://www.respace-acoustics.co.uk/>>

QUINN, Anne Kyyrö – **The bespoke art of felt and fabric**. In Anne Kyyrö Quinn. [Em linha]. 2005-2009. [Consultado a 16-Março-2013] Disponível em: <<http://www.annekyyroquinn.com/about.html>>

RPG – **Company Overview**. In RPG Diffusor Systems. [Em linha]. [Consultado a 18-Março-2013] Disponível em: <<http://www.rpginc.com/about.cfm>>

SALVADO, Hugo – **Mudam-se os sons... Movem-se as paredes?**. In P3. [Em linha]. Porto. [Consultado a 11-Abril-2013] Disponível em: <<http://p3.publico.pt/vicios/hightech/7318/mudam-se-os-sons-movem-se-paredes#.UWaRHBIR1BV.facebook>>

SILVA, Fernando Moreira da – **O processo de Investigação Académica**. [Projeção Visual]. [2006]. 50 Diapositivos. Lisboa: Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Lisboa, 2005.

UCRG – **Comportamento do Som em Salas**. In Universidade Comunitária da Região de Chapecó. [Em linha]. [Consultado a 15-Março-2013] Disponível em: <[http://www2.unochapeco.edu.br/~fernandes/disciplinas\\_leandro/conf\\_amb\\_II/apostila/parte-2.pdf](http://www2.unochapeco.edu.br/~fernandes/disciplinas_leandro/conf_amb_II/apostila/parte-2.pdf)>

VICOUSTIC – **About us**. In Vicoustic – Innovative Sound Solutions. [Em linha]. 2007-2013. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em: <<http://www.vicoustic.com/VN/Musicbroadcast/QuemSomos.asp>>

VIROC – **Dossier Técnico Viroc**. In Viroc. [Em linha]. [Consultado a 09-Junho-2013] Disponível em: <[http://www.viroc.pt/ResourcesUser/Documentos\\_Viroc/Dossiers\\_Tecnicos/PT\\_Viroc\\_DossierTecnico.pdf](http://www.viroc.pt/ResourcesUser/Documentos_Viroc/Dossiers_Tecnicos/PT_Viroc_DossierTecnico.pdf)>

## 16. Bibliografia

**Architectural Acoustics.** In The Free Dictionary. [Em linha]. 2013. [Consultado a 1-Abril-2013] Disponível em: <<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Architectural+Acoustics>>

**Decorative Acoustic Wall Panels by Anne Kyyro Quinn.** In Contemporary and Modern Furniture. [Em linha]. 2007-2013. [Consultado a 16-Março-2013] Disponível em: <<http://www.furnime.com/decorative-acoustic-wall-panels-by-anne-kyyro-quinn-007183.html>>

**Elementos em comunicação.** In Formação. [Em linha]. [Consultado a 22-Março-2013] Disponível em: <[http://formacao.atwebpages.com/4\\_2\\_1\\_elementos\\_comunicacao.htm](http://formacao.atwebpages.com/4_2_1_elementos_comunicacao.htm)>

**Enciclopédia Verbo Luso-Brasileira de Cultura, vol. 9.** Lisboa: Editorial Verbo, 1999. ISBN 972-22-1942-1.

**Ligação covalente.** In Infopédia [Em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2013. [Consultado a 24-Maio-2013]. Disponível em: <[http://www.infopedia.pt/\\$ligacao-covalente](http://www.infopedia.pt/$ligacao-covalente)>

**Ligação iónica.** In Infopédia [Em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2013. [Consultado a 24-Maio-2013]. Disponível em: <[http://www.infopedia.pt/\\$ligacao-ionica](http://www.infopedia.pt/$ligacao-ionica)>

**Pizza Express by Baynes & Co Designers, Plymouth.** In Retail Design Blog. [Em linha]. [Consultado a 16-Março-2013] Disponível em: <<http://retaildesignblog.net/2012/01/18/pizza-express-by-baynes-co-designers-plymouth/>>

**Pizza Express iPod booths: no more muzak.** In Electricpig. [Em linha]. 2007-2012. [Consultado a 16-Março-2013] Disponível em: <<http://www.electricpig.co.uk/2010/10/27/pizza-express-ipod-booths-no-more-muzak/pioneering-acoustic-design-at-pizzaexpress/index.html>>

**The Building.** In Royal Albert Hall. [Em linha]. [Consultado a 04-Junho-2013] Disponível em: <<http://www.royalalberthall.com/about/building/default.aspx>>

**The Cave Restaurant by Koichi Takada Architects.** In Contemporist. [Em linha]. [Consultado a 16-Março-2013] Disponível em: <<http://www.contemporist.com/2010/04/06/the-cave-restaurant-by-koichi-takada-architects/>>

ABNT – NBR 5413. 1992. Iluminância de Interiores. [Em linha]. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 13 p. [Consultado a 18-Setembro-2013]. Disponível em: <<http://www.labcon.ufsc.br/anexos/13.pdf>>

ACUSTICA, Arau – **Acoustics of Enclosed Spaces: Architectural Acoustics.** In Arau Acustica. [Em linha]. [Consultado a 05-Abril-2013] Disponível em: <[http://www.arauacustica.com/files/publicaciones\\_relacionados/pdf\\_esp\\_78.pdf](http://www.arauacustica.com/files/publicaciones_relacionados/pdf_esp_78.pdf)>

ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA – **Classroom Acoustics.** [Em linha]. 2000. [Consultado a 19-Março-2013] Disponível em: <<http://www.nonoise.org/quietnet/qc/booklet.htm>>

AGORAPHIL – **AGORaphil Acoustic Furniture/Interior.** In AGORaphil. [Em linha]. Dresden. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em: <<http://www.donatus-werke.de/en/interior/>>

ALMEIDA, Traça de – Utilização Eficiente de Energia em Iluminação [Projeção visual]. [Em linha]. 71 Diapositivos. Apontamentos da disciplina de Gestão de Energia Elétrica do curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Acessível na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal. [Consultado a 18-Setembro-2013]. Disponível em:

<<http://lge.deec.uc.pt/ensino/gee/aulas%20teoricas/iluminacao.PDF>>

AMORIM – **Dossier Info Cortiça – Design cork, for future, innovation and sustainability**. In Amorim. [Em linha]. Dezembro de 2006. [Consultado a 30-Maio-2013] Disponível em:

<[http://www.amorim.com/xms/files/CorticeiraAmorim/Noticias/Susdesign\\_DossierInfoCortica.pdf](http://www.amorim.com/xms/files/CorticeiraAmorim/Noticias/Susdesign_DossierInfoCortica.pdf)>

ANTUNES, Nelson – Madeiras. [2009]. 44 Páginas. Apontamentos da disciplina de Materiais do curso de Design de Interiores e Equipamento. Acessível na Escola Superior de Artes Aplicadas, Castelo Branco, Portugal.

\_\_\_ Materiais Plásticos. [2009]. 15 Páginas. Apontamentos da disciplina de Materiais do curso de Design de Interiores e Equipamento. Acessível na Escola Superior de Artes Aplicadas, Castelo Branco, Portugal.

\_\_\_ Metais. [2009]. 40 Páginas. Apontamentos da disciplina de Materiais do curso de Design de Interiores e Equipamento. Acessível na Escola Superior de Artes Aplicadas, Castelo Branco, Portugal.

\_\_\_ Produtos Cerâmicos. [2009]. 37 Páginas. Apontamentos da disciplina de Materiais do curso de Design de Interiores e Equipamento. Acessível na Escola Superior de Artes Aplicadas, Castelo Branco, Portugal.

ANTUNES, Tiago – Conforto Acústico [Projeção visual]. [2011]. 16 Diapositivos: color. Apontamentos da disciplina de Conforto Ambiental do curso de Design de Interiores e Equipamento. Acessível na Escola Superior de Artes Aplicadas, Castelo Branco, Portugal.

APRÈS – **About Après**. In Après Furniture. [Em linha]. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em:

<<http://www.apresfurniture.co.uk/about-us/>>

APRÈS – **Acoustic Wall Panels**. In Après Furniture. [Em linha]. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em: <<http://www.apresfurniture.co.uk/furniture/soundwave-acoustic-wall-panels.html?p=1>>

ARMSTRONG – **Quiet in Classroom – ANSI Standard S12.60 and Classroom Acoustics**. [Em linha]. 2003. [Consultado a 20-Março-2013] Disponível em: <<http://www.armstrong.com/common/c2002/content/files/4251.pdf>>

AUDIMUTE – **Audimute Soundproofing Newsletter September 2012**. In Audimute Soundproofing. [Em linha]. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em:

<<http://www.audimutesoundproofing.com/newsletter-09-2012.html>>

AURALEX – **The History of Auralex**. In Auralex Acoustics. [Em linha]. 1991-2012. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em:

<[http://www.auralex.com/auralex\\_acoustics\\_history/auralex\\_acoustics\\_history.asp](http://www.auralex.com/auralex_acoustics_history/auralex_acoustics_history.asp)>

BAYNES – **Pizza Express – The Barbican Leisure Park – Plymouth**. In Baynes & Co. [Em linha]. [Consultado a 16-Março-2013] Disponível em: <<http://www.baynesandco.com/>>

BOAVISTA, Janelas – **Fibra de Vidro**. In Janelas Boavista. [Em linha]. Porto. [Consultado a 19-Abril-2013] Disponível em: <<http://www.janelasboavista.com/>>

CALVETE, Marcelo – **II. Os materiais metálicos e os seus processos transformativos**. [Projeção visual]. [2012]. 350 Diapositivos. Apontamentos da disciplina de Novos Materiais e Novas Tecnologias do curso de Design de Interiores. Acessível na Escola Superior de Artes Aplicadas, Castelo Branco, Portugal.

\_\_\_ **III. Os materiais poliméricos e os seus processos transformativos**. [Projeção visual]. [2012]. 150 Diapositivos. Apontamentos da disciplina de Novos Materiais e Novas Tecnologias do curso de Design de Interiores. Acessível na Escola Superior de Artes Aplicadas, Castelo Branco, Portugal.

\_\_\_ **IV. Os materiais cerâmicos e os seus processos transformativos**. [Projeção visual]. [2012]. 99 Diapositivos. Apontamentos da disciplina de Novos Materiais e Novas Tecnologias do curso de Design de Interiores. Acessível na Escola Superior de Artes Aplicadas, Castelo Branco, Portugal.

\_\_\_ **V. Os materiais compósitos e os seus processos transformativos**. [Projeção visual]. [2012]. 99 Diapositivos. Apontamentos da disciplina de Novos Materiais e Novas Tecnologias do curso de Design de Interiores. Acessível na Escola Superior de Artes Aplicadas, Castelo Branco, Portugal.

CRAVO, Aníbal – **Ergonomia** [Projeção visual]. [2008]. 8 Diapositivos. Apontamentos da disciplina de Ergonomia do curso de Design de Interiores e Equipamento. Acessível na Escola Superior de Artes Aplicadas, Castelo Branco, Portugal.

CTGA – **Transmissão, absorção e reflexão do som**. In Curso Técnico de Gestão do Ambiente. [Em linha] 2009. [Consultado a 22-Março-2013] Disponível em: <<http://chamuscambiental.blogspot.pt/2009/10/transmissao-absorcao-e-reflexao-do-som.html>>

DOMINGUES, Odete – **A Acústica de Edifícios – Materiais e Sistemas absorventes sonoros: Coeficientes de absorção sonora**. 5ª Edição. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010. ISBN 978-972-49-2053-5.

DREOSSI, Raquel Cecília Fischer; MOMENSOHN-SANTOS, Teresa – **O Ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula: revisão de literatura**. Pré-Fono Revista de Atualização Científica [Em linha]. Vol. 17, nº 2. Mai/Ago 2005, p. 251-258. [Consultado a 18-Março-2013] Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pfono/v17n2/v17n2a13.pdf>>

EQUIPEX – **Sobre a Equipex**. In Equipex. [Em linha] Lisboa: 2002. [Consultado a 27-Agosto-2013] Disponível em: <<http://www.equipex.pt/primeira.html>>

ETHERINGTON, Rose – **Living Lab by Ab Rogers for Pizza Express**. In Dezeen Magazine. [Em linha]. 2006-2012. [Consultado a 16-Março-2013] Disponível em: <<http://www.dezeen.com/2011/01/05/living-lab-by-ab-rogers-for-pizza-express/>>

FERREIRA, Mácio Rafael – **Móveis Acústicos**. 2012. 48 f. Monografia de Licenciatura em Música – variante de Música Eletrónica e Produção Musical. Acessível na Escola Superior de Artes Aplicadas de Castelo Branco.

FERREIRA, Mácio Rafael – **Móveis Acústicos: Condensação, Optimização e Validação**. 2012. 72 f. Monografia de Licenciatura em Música – variante de Música Eletrónica e Produção Musical. Acessível na Escola Superior de Artes Aplicadas de Castelo Branco.

GONÇALVES, Valéria de Sá Barreto; SILVA, Luiz Bueno da; COUTINHO, António Souto – **Ruído como agente comprometedor da inteligibilidade da fala dos professores**. Produção [Em linha]. Vol. 19, nº 3. Set/Dez 2009, p. 466-476. [Consultado a 18-Março-2013] Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/prod/v19n3/05.pdf>>

GROZDANIC, Lidija – **Resonant Chamber is an Acoustically Responsive Envelope**. In eVolo Magazine. [Em linha]. 2006-2012. [Consultado a 11-Abril-2013] Disponível em: <<http://www.evolo.us/architecture/resonant-chamber-is-an-acoustically-responsive-envelope/>>

HENRIQUE, Luís L. – **Acústica Musical**. 2ª Edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2007. ISBN 978-972-31-1212-2.

HOWARD, David M.; ANGUS, Jamie A.S. **Acoustics and Psychoacoustics**. 4<sup>th</sup> ed. Oxford: Elsevier Ltd, 2009. ISBN 978-0-240-52175-6

IIDA, Itiro. **Ergonomia – Projeto e Produção**. 2ª Edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2005. ISBN 85-212-0354-3.

IPQ – EN 1729-1. 2012. Furniture – Chairs and tables for educational institutions – Part 1: Functional dimensions. Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 36 p.

IPQ – EN 1729-2. 2012. Furniture – Chairs and tables for educational institutions – Part 2: Safety requirements and test methods. Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 23 p.

KEFFORD, V.L. – **Plastics in Thermal and Acoustic Building Insulation – Report 67**. Rapa Technology [Em linha]. Vol. 6, nº 7. 1993. ISSN 0889-3144. [Consultado a 03-Setembro-2013] Disponível em: <[books.google.pt/books?isbn=0902348825](http://books.google.pt/books?isbn=0902348825)>

LONG, Marshall. **Architectural Acoustics**. Oxford: Elsevier Ltd, 2006. ISBN 978-0-12-455551-8

MC – **Apetreçamento dos Centros Escolares – Anexo I**. In Mais Centro, Programa Operacional Regional do Centro. [Em linha]. Coimbra. [Consultado a 10-Maio-2013] Disponível em: <<http://maiscentro.qren.pt/private/admin/ficheiros/uploads/Fichas%20Anexo%20I-%20apetrechamento%20rede%20escolar.pdf>>

MILLER, James D. – **Effects of Noise in People**. [Em linha]. Washington: Central Institute for the Deaf, 1971. [Consultado a 03-Abril-2013] Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/91019R7C.PDF?ZyActionP=PDF&Client=EPA&Index=Prior%20to%201976&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C70THRU75%5CTXT%5C0000019%5C91019R7C.txt&Query=&SearchMethod=1&FuzzyDegree=0&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&QField=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&Docs=>>>

MIYAKE, Arihiro – **Fort**. In Studio Arihiro Miyake. [Em linha]. [Consultado a 16-Março-2013] Disponível em: <<http://www.arihiromiyake.com/>>

MOBAPEC – **Quem Somos**. In Mobapec. [Em linha]. [Consultado a 27-Agosto-2013] Disponível em: <<http://www.mobapec.pt/qsomos.asp>>

NAUTILUS – **Empresa**. In Nautilus. [Em linha] 2011. [Consultado a 27-Agosto-2013] Disponível em: <<http://www.nautilus.pt/index.php>>

NEUFERT, Ernst. – **Arte de projetar em arquitetura: princípios, normas e prescrições sobre construção, instalações, distribuição e programa de necessidades, dimensões de edifícios, locais e utensílios**. Tradução da 21ª Edição Alemã. 5ª Edição. São Paulo: Gustavo Gili, 1976. ISBN 84-252-1691-5.

NORTESCOLAR – **Empresa**. In Nortescolar. [Em linha] 2010. [Consultado a 27-Agosto-2013] Disponível em: <<http://www.nortescolar.pt/empresa.html>>

PAULI, Ronald Ulysses; MAUAD, Farid Carvalho; SIMÃO, Cláudio. **Física Básica 3 – Ondas, Acústica e Óptica**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Lda, 1980. ISBN 8512235306.

OFFICE, Urban – **Office Acoustics**. In Urban Office Interiors. [Em linha]. [Consultado a 16-Março-2013] Disponível em: <<http://www.urban-office.com/acousticcreens.html>>

PE – **Manual de Projeto: Arquitetura**. In Parque Escolar, Programa de Modernização das Escolas do Ensino Secundário. [Em linha]. Lisboa: Parque Escolar, 2009. [Consultado a 4-Junho-2013] Disponível em: <<http://www.parque-escolar.pt/pt/programa/manual-projeto-arquitetura.aspx>>

PEREIRA, Joana Ramos – **Design e Música: Presença do som no Design**. 2011. 145 f. Dissertação de Mestrado em Design de Equipamento – Estudos de Design. Acessível na Faculdade de Belas-Artes da Universidade de Lisboa.

PORTELA, Marcelo – **Materiais Acústicos: Conceitos para Acústica Arquitetónica**. In Laboratório de Conforto Ambiental. [Em linha]. [Consultado a 8-Abril-2013]. Disponível em: <<http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/390.pdf>>

PORTUGAL, Ministério da Educação – Despacho conjunto n.º 08/RE/2009 de 11 de Agosto. **Referenciais técnicos para conceção/construção de escolas básicas (2º e 3º ciclos)**. Faro: Rede Escolar.

PORTUGAL, Ministério da Educação – **II – Alguns referenciais técnicos para a construção /ampliação /requalificação de escolas na perspetiva do Centro Escolar**. In Programa Centro Escolar. [Em linha] Lisboa: Ministério da Educação, 29 p. [Consultado a 02-Junho-2013]. Disponível em: <<http://www.centroescolar.min-edu.pt/np4/programa>>

PORTUGAL, Ministério da Educação – **Apetrechamento dos Centros Escolares – Referenciais técnicos para Mobiliário Escolar e Listagens de Referência para Material Didático e Equipamento Informático**. In Mais Centro, Programa Operacional Regional do Centro. [Em linha]. Lisboa: Ministério da Educação, 2008. [Consultado a 25-Maio-2013] Disponível em: <<http://maiscentro.qren.pt/private/admin/ficheiros/uploads/apetrechamento%20dos%20centros%20escolares.pdf>>

PORTUGAL, Ministério da Educação – **Referenciais técnicos para concepção/construção de Escolas Básicas (2º e 3º ciclos)**. Lisboa: Ministério da Educação, 2009. Referencial facultado pela Direção-Geral de Estabelecimentos Escolares, Direção de Serviços da Região Centro.

PORTUGAL, Ministério da Educação e Ciência – **Lista de empresas de mobiliário**. In Rede de Bibliotecas Escolares. [Em linha]. Lisboa: Ministério da Educação e Ciência. [Consultado a 27-Agosto-2013] Disponível em: <[http://www.rbe.min-edu.pt/np4/file/132/lista\\_empresas\\_mobiliario.pdf](http://www.rbe.min-edu.pt/np4/file/132/lista_empresas_mobiliario.pdf)>

PORTUGAL, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional – Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho. **Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios**. Lisboa: Diário da República 1ª série. 110 (2008-06-09), p. 3359-3372.

PRIMACOUSTIC – **About Primacoustic**. In Primacoustic. [Em linha]. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em: <<http://www.primacoustic.com/about.htm>>

PROOF – **About us**. In Prooff. [Em linha]. Rotterdam. 2006-2013. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em: <<http://www.prooff.com/about-us>>

RESPACE – **Interior Acoustic Solutions**. In ReSpace Acoustics. [Em linha]. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em: <<http://www.respace-acoustics.co.uk/>>

QUINN, Anne Kyyrö – **The bespoke art of felt and fabric**. In Anne Kyyrö Quinn. [Em linha]. 2005-2009. [Consultado a 16-Março-2013] Disponível em: <<http://www.annekyyroquinn.com/about.html>>

RPG – **Company Overview**. In RPG Diffusor Systems. [Em linha]. [Consultado a 18-Março-2013] Disponível em: <<http://www.rpginc.com/about.cfm>>

SALVADO, Hugo – **Mudam-se os sons... Movem-se as paredes?**. In P3. [Em linha]. Porto. [Consultado a 11-Abril-2013] Disponível em: <<http://p3.publico.pt/vicios/hightech/7318/mudam-se-os-sons-movem-se-paredes#.UWaRHBIR1BV.facebook>>

SILVA, Fernando Moreira da – **O processo de Investigação Académica**. [Projeção Visual]. [2006]. 50 Diapositivos. Lisboa: Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Lisboa, 2005.

UCRG – **Comportamento do Som em Salas**. In Universidade Comunitária da Região de Chapecó. [Em linha]. [Consultado a 15-Março-2013] Disponível em: <[http://www2.unochapeco.edu.br/~fernandes/disciplinas\\_leandro/conf\\_amb\\_II/apostila/partes-2.pdf](http://www2.unochapeco.edu.br/~fernandes/disciplinas_leandro/conf_amb_II/apostila/partes-2.pdf)>

VICOUSTIC – **About us**. In Vicoustic – Innovative Sound Solutions. [Em linha]. 2007-2013. [Consultado a 17-Março-2013] Disponível em: <<http://www.vicoustic.com/VN/Musicbroadcast/QuemSomos.asp>>

VIROC – **Dossier Técnico Viroc**. In Viroc. [Em linha]. [Consultado a 09-Junho-2013] Disponível em: <[http://www.viroc.pt/ResourcesUser/Documentos\\_Viroc/Dossiers\\_Tecnicos/PT\\_Viroc\\_DossierTecnico.pdf](http://www.viroc.pt/ResourcesUser/Documentos_Viroc/Dossiers_Tecnicos/PT_Viroc_DossierTecnico.pdf)>

## 17. Glossário

**Coefficiente de absorção** – relação existente, expressa em sabine, entre a quantidade de energia sonora que incide no material e aquela que é absorvida pelo mesmo. O coeficiente de absorção de um determinado material varia entre 0 (se toda a energia é refletida) e 1 (se toda a energia é absorvida).

**Eco** – fenómeno que resulta da reflexão de uma onda sonora numa superfície de grande área de forma a que seja claramente distinguível o som emitido do som refletido (o intervalo de tempo entre ambos deve ser superior a 1/10 de segundo, o equivalente a dizer que o som refletido tem que fazer um percurso de, pelo menos, 34m).

**Efeito de precedência** – também conhecido por efeito Haas, o efeito de precedência denomina-se pelo fenómeno que permite ao sistema auditivo humano localizar a direção de um som emitido por uma fonte.

**Inteligibilidade da fala** – relação existente, expressa em percentagem, entre as palavras faladas e as palavras entendidas.

**Ligação covalente** – tipo de ligação química em que sucede a união de átomos através da partilha de pares de eletrões.

**Ligação iónica** – tipo de ligação química em que sucede a transferência de eletrões, sendo por cedência ou por captação destes.

**Mascaramento** – também denominado efeito máscara, ocorre quando um som é mascarado por um outro seu semelhante, tornando difícil para o ouvido compreender ou distinguir o primeiro som do segundo. Este efeito obriga ao aumento da intensidade de um som para ser ouvido de forma correta. Sons de frequências semelhantes são mascarados mais facilmente do que sons distintos, assim como um som de maior intensidade irá mascarar uma maior gama de frequências.

**Material compósito** – denomina-se por compósito um material que é composto por partes diferentes. Consideram-se compósitos os materiais cujos constituintes se conseguem distinguir entre si à escala da microestrutura (grão) ou da macroestrutura (distinção feita a olho nu). Caracteriza também um material compósito que os seus constituintes não se dissolvam entre si.

**Material polimérico** – denomina-se por polimérico um material cuja composição resulta de reações químicas de polimerização e de elevada massa molecular (ou seja, composto por muitas partes), normalmente conhecidos como plásticos. Dividem-se em três grandes categorias, repartidos pelas suas características: termoplásticos, termoendurecíveis e elastómeros.

**Membrana ressonante** – sistema que funciona como sistema absorvente sonoro de baixas frequências. É composto por um painel de contraplacado que é fixado a uma estrutura de madeira e que, pelo distanciamento a uma parede, cria uma caixa-de-ar que permite que as ondas sonoras sejam transformadas em energia térmica.

**Ressoador de Helmholtz ou Ressoador de Cavidade** – cavidade de paredes rígidas constituída por uma abertura estreita, gargalo e ressoador e que têm como finalidade absorver, com elevado rigor, uma frequência específica. São desenhados através de cálculos que relacionam a frequência a absorver, a área e comprimento do gargalo, volume do ressoador e velocidade do som no ar.

**Reverberação** – efeito físico gerado pelo som, é a reflexão múltipla de uma frequência. Ocorre devido à pouca absorção dos materiais em determinados locais, refletindo as ondas sonoras. Este fenómeno faz com que, após a fonte sonora cessar, ainda se ouça um prolongamento do som (maior ou menor conforme o tempo de reverberação do local), resultado das reflexões do som provenientes de todos locais onde incidiu. Os prolongamentos de todos os sons que são gerados num determinado local acabam por se sobrepor criando assim uma confusão sonora.

## 18. Anexos

### I. Desenhos Técnicos

- 1.1 Linha "Lápis" - módulos para aplicação com indicação dos materiais - vista principal e módulos
- 2.1 Linha "Low Cost" - módulos para aplicação com indicação dos materiais - vista principal
- 2.2 Linha "Low Cost" - módulos
- 3.1 Mesa - vistas
- 3.2 Mesa - componentes em metal
- 3.3 Mesa - tampo
- 3.4 Mesa - painel lateral
- 3.5 Mesa - enquadramento da aplicação dos painéis de acondicionamento acústico no equipamento, linhas "Lápis" e "Low Cost"
- 4.1 Cadeira - vistas
- 4.2 Cadeira - componentes em metal
- 4.3 Cadeira - componentes em madeira
- 4.4 Cadeira - enquadramento da aplicação dos painéis de acondicionamento acústico no equipamento, linhas "Lápis" e "Low Cost"
- 5.1 Armário "Lápis" - vistas
- 5.2 Armário "Low Cost" - vistas
- 5.3 Armários "Lápis" e "Low Cost" - cortes
- 5.4 Armários "Lápis" e "Low Cost" - desenho dos componentes
- 5.5 Armários "Lápis" e "Low Cost" - desenho dos componentes
- 5.6 Armários "Lápis" e "Low Cost" - desenho dos componentes
- 5.7 Armários "Lápis" e "Low Cost" - desenho pormenorizado de porta
- 5.8 Armários - enquadramento da aplicação dos painéis de acondicionamento acústico no equipamento, linhas "Lápis" e "Low Cost"
- 6.1 Luminária "Lápis" - vistas
- 6.2 Luminária "Lápis" - componentes
- 6.3 Luminária "Low Cost" - vistas
- 6.4 Luminária "Low Cost" - componentes

### II. Estudos Acústicos

1. Sala modelo sem intervenção
2. 2. Sala modelo com implementação de mobiliário, linha "Lápis"
3. 3. Sala modelo com implementação de mobiliário, linha "Low Cost"

### III. Fichas técnicas – materiais e componentes

1. Assento
2. Contraplacado
3. Encosto
4. Espuma de poliuretano
5. Manta Acústica
6. Orlas em PVC
7. Dobradiças 40mm
8. Fixação para pernas de mesas
9. Parafusos autoroscantes
10. Parafusos tremço
11. Pés em PVC flexível 25x25mm
12. Pés em PVC flexível 25x30mm
13. Pés niveladores 30mm

### IV. Estimativa Orçamental

1. Orçamento - Mesa
2. Orçamento - Cadeira
3. Orçamento - Armário
4. Orçamento - Luminárias