

# **CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DO CINETEATRO EDUARDO BRAZÃO**

(Valadares)

**DIOGO JORGE FERRAZ DA SILVA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho

FEVEREIRO DE 2023

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2022/2023**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2022/2023 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2023.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus avôs

*The more I see, the less I know for sure*

*John Lennon*



## AGRADECIMENTOS

Dando fim ao meu percurso académico, percebo agora em retrospectiva que estes cinco anos são nada mais do que o caminho que uma pessoa ignorante percorreu até o deixar de ser.

Hoje sinto-me algo mais do que a minha pessoa pois levo em mim, os sentimentos, os conhecimentos e as vivências de muita gente e com muito orgulho.

Ao meu orientador Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho agradeço por tudo o que fez por mim, pela sua disponibilidade e ajuda, agradeço-lhe também como professor e por durante as aulas despertar em mim um carinho pela acústica que agora levo comigo no início desta nova etapa.

Ao Engenheiro António Eduardo Costa agradeço pela disponibilidade que demonstrou durante as medições.

À empresa *InAcoustics*, agradeço pela cedência dos elementos do projeto.

Aos meus pais, agradeço pela oportunidade de me tornar algo maior e melhor, pelo carinho e pelo apoio ao longo deste meu percurso e acima de tudo por me inculcaram valores e atitudes que me ajudaram ao longo de toda a vida.

Ao meu irmão, agradeço pela pessoa que é e por me ter dado sempre a mão quando precisei.

Aos meus padrinhos, agradeço por estarem sempre presentes em todos os momentos da minha vida e terem sido como segundos pais para mim e aos meus primos por terem sido mais dois irmãos.

Aos meus avós, que tomaram conta de mim e fizeram parte da minha educação.

À minha família, que sempre apoiou aquela criança que quando era pequena decidi ser Engenheira e desde aí de tudo fez para chegar lá.

Aos meus amigos, que fizeram este curso comigo e que me ajudaram a chegar a linha de chegada, sem eles nunca estaria onde estou hoje, aos momentos que passamos juntos, aos dias de estudo intensivo, às noites infundáveis a fazer trabalhos e aonde conseguimos chegar não só academicamente, mas como pessoas.

Às pessoas passageiras na minha vida, escrevo este capítulo da minha vida agora sem vocês, mas sem nunca esquecer aqueles que escrevi convosco.

Aos meus avôs e ao meu tio, que não podem ver aonde cheguei, mas a quem devo muito nunca vou esquecer os vossos sorrisos.

Por último, quero agradecer a minha depressão não aquilo que ela me tirou, mas ao que ela me deu, às pessoas que conheci graças a ela, às memórias que fiz e aos momentos que vivi.



## RESUMO

Esta dissertação tem como principal objetivo fazer a caracterização acústica do cineteatro Eduardo Brazão.

Para tal é preciso entender quais as necessidades acústicas que existem neste tipo de edifício e como cada uma das atividades que nele se realiza exige diferentes características da sala a analisar.

Este cineteatro foi remodelado pela câmara de Vila Nova de Gaia no ano 2007 sendo que a empresa responsável pelo projeto de acústica foi a InAcoustic. Neste cineteatro existe uma sala dedicada ao cinema, teatro, concertos e palestras (à palavra).

O trabalho começa por explicar alguns conceitos teóricos sem os quais não seria possível ao leitor comum compreender o “sumo” desta dissertação. De seguida será explicado por qual motivo surgiram os cineteatros e quais as diferenças deste tipo de salas para salas unicamente de cinema ou de teatro é feita uma contextualização política, da forma como o estado interveio para potenciar a cultura e de a tornar acessível a toda a gente.

De seguida são abordadas as exigências funcionais que alguns autores consideram necessárias para salas de teatro, salas para a palavra e para salas de música.

Por último, é abordada a legislação portuguesa e os parâmetros acústicos que se encontram limitados na mesma.

De forma a obter uma caracterização acústica qualitativa do cineteatro foram efetuados ensaios e medições que avaliam parâmetros acústicos relevantes sendo estes o RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*), tempo de reverberação (TR), o nível de pressão sonora do ruído de fundo ( $L_{Aeq}$ ) e as curvas de incomodidade noise criterion (NC) e noise rating (NR).

Os valores médios obtidos foram: TR (500, 1k, 2k Hz) de 1,12 segundos, nível sonoro contínuo equivalente do ruído de fundo sem AVAC ( $L_{Aeq}$ ) de 32 dB e com AVAC de 37 dB, valores do NC e NR (do AVAC) de 28 dB e valores de RASTI compreendidos entre 0,55 e 0,70 nos diferentes pontos de medição.

Para a sala “ocupada” foi ainda calculado um valor de TR médio previsível de cerca 1,0 segundos.

Por fim tendo em conta os resultados obtidos e comparando os mesmos com os valores recomendados e regulamentares, foram tiradas conclusões em relação a natureza da sala e para qual o tipo de atividade é que está se melhor adapta.

Sendo que se conclui que a sala está dentro dos parâmetros aceitáveis para o cinema e para o teatro tendo em conta o TR e o RASTI, mas não cumpre com a lei quando se avalia o nível de ruído de fundo.

Foi ainda realizada uma comparação da sala em análise com outras salas de espetáculo com o objetivo de perceber onde está se insere qualitativamente neste espetro.

PALAVRAS-CHAVE: Acústica, Cineteatro, Reverberação, RASTI, Som.





## ABSTRACT

The main objective of this dissertation is to characterize the acoustics of the Eduardo Brazão Movie Theatre.

To do this it is necessary to understand what acoustic needs exist in this type of building and how each of the activities that take place in it require different characteristics of the room to be analysed.

This movie theatre was remodelled by the Vila Nova de Gaia City Hall in 2007 and the company responsible for the acoustic project was InAcoustic, in this theatre there is a room dedicated to cinema, theatre, concerts and lectures (to the word).

The work begins by explaining some theoretical concepts without which it would not be possible for the common reader to understand the "juice" of this dissertation. After that, it will be explained why movie theatres emerged and what the differences are between movie theatres and other type of rooms. In the end of this part is given a political contextualization of how the state intervened to enhance culture and make it accessible to everyone.

Next, the functional requirements that some authors consider necessary for theatre halls, speech halls and music halls are discussed.

Finally, the Portuguese legislation and the acoustic parameters that are limited in it are discussed.

To obtain a qualitative acoustic characterization of the movie theatre, tests and measurements were carried out to evaluate relevant acoustic parameters such as RASTI (Rapid Speech Transmission Index), reverberation time (RT), the background noise sound pressure level (LAeq) and the noise criterion (NC) and noise rating (NR) annoyance curves.

The mean values obtained were RT (500, 1k, 2k Hz) of 1.12 seconds, equivalent continuous sound level of the background noise without AVAC (LAeq) of 32 dB and with AVAC of 37 dB, values of NC and NR (AVAC) of 28 dB and RASTI values between 0.55 and 0.70 at the different measuring points.

For the "occupied" room, a predictable average RT value of about 1,0 seconds was also calculated.

Finally, considering the results obtained and comparing them with the recommended and regulatory values, conclusions were drawn in relation to the nature of the room, and to which type of activity it is best suited.

The conclusion is that the venue is within acceptable parameters for cinema and theatre taking into account the TR and RASTI but does not comply with the law when evaluating the noise level.

A comparison of the venue under analysis with other venues was also carried out in order to understand where it qualitatively fits into this spectrum.

KEYWORDS: ACOUSTIC, MOVIE THEATRE, REVERBERATION, RASTI, SOUND.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO .....	1
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	2
<b>2. CONCEITOS E DEFINIÇÕES</b> .....	3
2.1. INTRODUÇÃO .....	3
2.2. ANÁLISE DE PRESSÃO .....	3
2.2.1. O SOM.....	3
2.2.2. OUVIDO HUMANO .....	4
2.2.3. PROPAGAÇÃO DO SOM NO AR.....	5
2.2.4. PRESSÃO ATMOSFÉRICA E TEMPERATURA.....	5
2.2.5. CELERIDADE .....	6
2.2.6. INTENSIDADE E POTÊNCIA SONORA .....	6
2.2.7. NÍVEIS.....	7
2.3. ANÁLISE EM FREQUÊNCIA .....	9
2.3.1. DEFINIÇÕES E UNIDADES.....	9
2.3.2. BANDAS DE FREQUÊNCIAS .....	10
2.3.3. CURVAS DE PONDERAÇÃO.....	11
2.3.4. RUÍDOS BRANCO E ROSA .....	12
2.3.5. COMPRIMENTO DE ONDA.....	12
2.4. ANÁLISE NO TEMPO.....	13
2.4.1. DEFINIÇÃO .....	13
2.4.2. NÍVEL DE PRESSÃO SONORA CONTINUO EQUIVALENTE.....	13
2.5. ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS .....	13
2.5.1. INTRODUÇÃO.....	13
2.5.2. ABSORÇÃO SONORA .....	14

2.5.3. TEMPO DE REVERBERAÇÃO .....	16
2.5.3.1 DEFINIÇÃO .....	16
2.5.3.2 MEDIÇÃO .....	16
2.5.3.3 FÓRMULAS DE PREVISÃO .....	17
2.5.3.4 EFEITOS DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO .....	18
2.5.4. MATERIAIS E SISTEMAS ABSORVENTES .....	20
2.5.4.1 CONCEITOS.....	20
2.5.4.2 MATERIAIS POROSOS E FIBROSOS.....	20
2.5.4.3 RESSOADORES.....	21
2.5.4.4 MEMBRANAS .....	22
2.5.5. CAMPO SONORO .....	22
2.5.6. ISOLAMENTO SONORO.....	23
2.5.7. PARÂMETROS DE MEDIDA DA INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA .....	24
2.5.7.1 NÍVEL DE INTERFERÊNCIA NA CONVERSAÇÃO (SIL) .....	24
2.5.7.2 ÍNDICE DE ARTICULAÇÃO (AI) .....	24
2.5.7.3 <i>SPEECH TRANSMISSION INDEX (STI) E RAPID SPEECH TRANSMISSION INDEX (RASTI)</i> .....	25
2.5.7.4 ARTICULATION CLASS (AC).....	26
2.5.8. CURVAS DE INCOMODIDADE (NC/NR).....	26
<b>2.6. ACÚSTICA ARQUITETÓNICA.....</b>	<b>27</b>
2.6.1. INTRODUÇÃO.....	27
2.6.2. CONCEITOS.....	28
2.6.2.1 REFLEXÕES .....	28
2.6.2.2 ACÚSTICA VARIÁVEL .....	30
2.6.3. PARÂMETROS ACÚSTICOS .....	31
2.6.3.1 ENQUADRAMENTO .....	31
2.6.3.2 PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJETIVOS .....	32
2.6.3.3 PARÂMETROS ACÚSTICOS SUBJETIVOS.....	33
<b>3. ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1. O QUE É UM CINETEATRO.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO .....</b>	<b>35</b>
3.2.1. O TEATRO O CINEMA E OS CINETEATROS EM PORTUGAL.....	35
3.2.2. CONTEXTUALIZAÇÃO POLÍTICA .....	37

3.2.3. A DESCENTRALIZAÇÃO NA CULTURA E AS PRIMEIRAS REDES DE EQUIPAMENTOS CULTURAIS.....	37
3.2.4. REDE NACIONAL DE TEATROS E CINETEATROS PORTUGUESES.....	37
<b>3.3. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS .....</b>	<b>38</b>
3.3.1. REGRAS GERAIS.....	38
3.3.2. AUDITÓRIOS PARA O TEATRO .....	39
3.3.3. AUDITÓRIOS PARA A PALAVRA.....	40
3.3.4. SALAS DE MÚSICA .....	42
3.3.5. SALAS MULTIUSOS.....	44
<b>3.4. LEGISLAÇÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>4. MEDIÇÕES .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1. CINETEATRO EDUARDO BRAZÃO .....</b>	<b>49</b>
4.1.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA .....	49
4.1.2. APRESENTAÇÃO .....	49
4.1.3. PROJETO DE ARQUITETURA .....	50
4.1.4. PROJETO DE ACÚSTICA .....	51
4.1.5. INSTALAÇÕES .....	51
4.1.6. PLANTAS .....	53
<b>4.2. METODOLOGIA .....</b>	<b>56</b>
4.2.1. PARÂMETROS.....	56
4.2.2. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO.....	56
4.2.3. METODOLOGIA .....	58
<b>5. RESULTADOS DAS MEDIÇÕES .....</b>	<b>61</b>
<b>5.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO .....</b>	<b>61</b>
<b>5.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO COM A SALA OCUPADA (PREVISÃO).....</b>	<b>63</b>
<b>5.3. RUÍDO DE FUNDO .....</b>	<b>65</b>
<b>5.4. CURVAS DE INCOMODIDADE.....</b>	<b>70</b>
<b>5.5. RASTI .....</b>	<b>72</b>
<b>5.6. COMPARAÇÃO COM OUTRAS SALAS .....</b>	<b>73</b>
5.6.1. INTRODUÇÃO.....	73
5.6.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	73
5.6.3. RUÍDO DE FUNDO .....	76

5.6.4. RASTI .....77

**6. CONCLUSÃO .....81**

**6.1. CONCLUSÕES .....81**

**6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....82**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....83**

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Características do som [21] .....	
Fig. 2.2 – Esquema do ouvido humano [5].....	
Fig. 2.3 – Propagação do Som (2D). 1- Zona de compressão; 2- Zona de rarefações [2].....	
Fig. 2.4 – Pressão sonora ( $P_t$ ) e pressão atmosférica ( $P_{at}$ ). [3].....	
Fig. 2.5 – Inter-relação entre potência ( $W$ ), pressão ( $p$ ) e intensidade ( $I$ ) [4] .....	
Fig. 2.6 – Pressão sonora e nível de pressão sonora [4].....	
Fig. 2.7 – Gamas de frequência audíveis para alguns seres vivos [5] .....	
Fig. 2.8 – Descrição das curvas de ponderação (filtros) A, B, C e D [1].....	
Fig. 2.9 – Definição de comprimento de onda (adaptado de [7]) .....	
Fig. 2.10 – Influência do comprimento de onda face a obstáculos, na situação da esquerda para baixas frequências e um obstáculo pequeno e na direita para altas frequências e um obstáculo maior que o comprimento da onda (adaptado de [12]) .....	
Fig. 2.11 – Mecanismo de absorção sonora [13].....	
Fig. 2.12 – Esquema de uma câmara reverberante (adaptado de [14]) .....	
Fig. 2.13 – Esquema de um tubo de ondas estacionárias (adaptado de [15]).....	
Fig. 2.14 – Gráfico do tempo de reverberação (adaptado de [16]) .....	
Fig. 2.15 – Tempos de reverberação ideais em função do uso (adaptado de cavanaugh,1999) [18] .....	
Fig. 2.16 – Comportamento em frequência dos diferentes tipos de materiais e sistemas absorventes [1].....	
Fig. 2.17 – Variação dos coeficientes de absorção sonora para ressoadores onde se verifica o efeito da inclusão de material absorvente sonoro na caixa de ar (linha tracejada) [1] .....	
Fig. 2.18 – Esquema de um ressoador de <i>Helmholtz</i> . [19].....	
Fig. 2.19 – Ressoador agrupado. [20].....	
Fig. 2.20 – Transmissão de ruído aéreo (esquerda) e de percussão (direita). [24] .....	
Fig. 2.21 – Transmissões por via direta (TD) e por via marginal (TL) (adaptado de [54]).....	
Fig. 2.22 – Curvas do <i>Noise Rating</i> . [27] .....	
Fig. 2.23 – Curvas do <i>Noise Criterion</i> . [27] .....	
Fig. 2.24 – Exemplo de duas situações com eco uma delas inofensiva (cima) e outra onde há reflexões para a audiência próxima (baixo). [38].....	
Fig. 2.25 – <i>Flutter echo</i> entre paredes paralelas. [38] .....	
Fig. 2.26 – Sala <i>Suggia</i> na casa da música. [51] .....	
Fig. 2.27 – Secção longitudinal do <i>Royal Albert Hall</i> (esquerda) e exemplo dos discos voadores (direita). [38][53].....	

Fig. 2.28 – Variação na absorção na <i>Hong Kong Academy for Performing Arts</i> . Os três arranjos das abas permitem três graus de absorção diferentes [38]: (a) Abas completamente fechadas, poucas reflexões iniciais e um grande tempo de reverberação (b) Abas meio abertas, algumas reflexões iniciais e um tempo de reverberação médio (c) Abas completamente abertas, poucas reflexões iniciais e um tempo de reverberação baixo .....	
Fig. 2.29 – Auditório do Teatro Municipal de Bragança. [52] .....	
Fig. 3.1 – <i>Auguste Lumière</i> (esquerda) e <i>Louis Lumière</i> (direita). [31].....	
Fig. 3.2 – Cinematógrafo-Lumière. [32] .....	
Fig. 3.3 – <i>Léon Bouly</i> . [31].....	
Fig. 3.4 – Cinema Ideal em Lisboa. [32] .....	
Fig. 3.5 – Formas mais básicas usadas no projeto de teatros. [36] .....	
Fig. 3.6 – Efeito provocado pela inclinação no ponto de chegada da linha de visão e consequente melhor percepção da palavra. [36] .....	
Fig. 3.7 – Efeito provocado pelos assentos entre os patamares. [40].....	
Fig. 3.8 – Reflexão provocada por painéis no teto. [36] .....	
Fig. 3.9 – Forma das salas de concerto, na sua configuração normal do lado esquerdo da imagem e <i>surround</i> do lado direito da imagem. [36].....	
Fig. 4.1 – Localização do Cineteatro Eduardo Brazão (edifício rodeado a vermelho). [44].....	
Fig. 4.2 – Eduardo Joaquim Brazão. [47].....	
Fig. 4.3 – Joaquim Orlando Massena. [48] .....	
Fig. 4.4 – Corte Vertical do Cineteatro Eduardo Brazão. [50].....	
Fig. 4.5 – Planta do piso 0 do Cineteatro Eduardo Brazão. [50] (A coxia central que aparece na imagem na realidade não existe).....	
Fig. 4.6 – Planta do piso 1 do Cineteatro Eduardo Brazão. [50] (A coxia central que aparece na imagem na realidade não existe). [50].....	
Fig. 4.7 – Planta de palco do Cineteatro Eduardo Brazão. [45] .....	
Fig. 4.8 – Vista de perfil do palco do Cineteatro Eduardo Brazão. [45] .....	
Fig. 4.9 – Fonte sonora Brüel & Kjær, modelo 4224 (esquerda) e Sonómetro Brüel & Kjær, modelo 2260 sobre tripé portátil Brüel & Kjær, modelo UA0049 [Foto do autor].....	
Fig. 4.10 – Equipamentos de RASTI Brüel & Kjær, emissor modelo 4425 (esquerda) e recetor modelo 4419 (direita) [Fotos do autor] .....	
Fig. 4.11 – Mapas de medições do Tempo de reverberação do piso 0 (cima) e do balcão (baixo) do Cineteatro Eduardo Brazão (Locais de medição: correspondem aos números; Posição da fonte sonora: FS).....	
Fig. 4.12 – Mapas de medições do RASTI do piso 0 (cima) e do balcão (baixo) do Cineteatro Eduardo Brazão (Locais de medição: correspondem aos Ri; Posição da fonte sonora: FS) (A coxia central que aparece na imagem na realidade não existe) .....	



- Fig. 4.13 – Mapas de medições do nível sonoro do ruído de fundo do piso 0 (esquerda) e do balcão (direita) do Cineteatro Eduardo Brazão (Locais de medição: correspondem aos Ni; Posição da fonte sonora: FS) (A coxia central que aparece na imagem na realidade não existe).....
- Fig. 5.1 – Tempos de reverberação com a sala vazia e ocupada para cada banda de 1/1 de oitava. ....
- Fig. 5.2 – Valores das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) dos pontos medidos na sala de espetáculos por bandas de frequência de terço de oitava (Hz), dos 12,5 aos 8.000 Hz, com o AVAC desligado.....
- Fig. 5.3 – Valores das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) dos pontos medidos na sala de espetáculos por bandas de frequência de terço de oitava (Hz), dos 12,5 aos 8.000 Hz, com o AVAC Ligado.....
- Fig. 5.4 – Valores médios das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) na sala de espetáculos por bandas de frequência de terço de oitava (Hz), dos 12,5 aos 8.000 Hz, com o AVAC ligado e desligado. ....
- Fig. 5.5 – Comparação dos níveis médios de pressão sonora do ruído de fundo, na sala de espetáculos, com o AVAC ligado, com as curvas NR .....
- Fig. 5.6 – Comparação dos níveis médios de pressão sonora do ruído de fundo, na sala de espetáculos, com o AVAC ligado, com as curvas NC. ....
- Fig. 5.7 – Comparação do tempo de reverberação para as diferentes bandas de frequência de terço de oitava. [26][55][56][57]. ....
- Fig. 5.8 – Comparação do tempo de reverberação médio para as bandas de frequência de 1/1 oitava entre os 500 e os 2.000 Hz tendo em conta o volume das salas. [26][55][56][57]. ....
- Fig. 5.9 – Comparação do tempo de reverberação médio para as bandas de frequência de 1/1 oitava entre os 500 e os 2.000 Hz tendo em conta o número de lugares de cada sala. [26][56][57]. ....
- Fig. 5.10 – Valores médios das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) nas salas de espetáculos por bandas de frequência de terço de oitava (Hz), dos 12,5 aos 8.000 Hz, com o AVAC desligado. [26][56][57] .....
- Fig. 5.11 – Valores médios das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) nas salas de espetáculos por bandas de frequência de terço de oitava (Hz), dos 12,5 aos 8.000 Hz, com o AVAC ligado. [26][56][57] .....
- Fig. 5.12 – Comparação do valor médio do parâmetro RASTI em cada uma das salas tendo em conta a média energética do LAeq . [26][56][57] .....
- Fig. 5.13 – Comparação do valor médio do parâmetro RASTI em cada uma das salas tendo em conta o tempo de reverberação médio. [26][56][57]. ....
- Fig. 5.14 – Comparação do valor médio do parâmetro RASTI em cada uma das salas tendo em conta o volume das salas (m3). [26] [56] [57] .....

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Frequência central com os limites das bandas de frequência de terços de oitava e de oitava [8].....	
Quadro 2.2 – Valores da ponderação do “filtro A” por banda de frequência de 1/3 de oitava e oitava (bandas de frequência de 1/1 oitava célula a cinzento) [1].....	
Quadro 2.3 – Valores de algumas absorções localizadas em m <sup>2</sup> para as diferentes frequências do som emitido [1].....	
Quadro 2.4 – Absorção sonora do Ar em função da humidade relativa para as diferentes frequências [1].....	
Quadro 2.5 – Variabilidade da emissão de voz entre vogais e consoantes [1] .....	
Quadro 2.6 – Perceção subjetiva para a privacidade e inteligibilidade da palavra em função dos valores de AI [1].....	
Quadro 2.7 – Relação entre o parâmetro RASTI e a inteligibilidade da palavra [25].....	
Quadro 2.8 – Valores limites máximos de NC para algumas situações [1] .....	
Quadro 2.9 – Valores limites máximos de NR para algumas situações [38].....	
Quadro 2.10 – Melhores relações entre parâmetros acústicos objetivos [1].....	
Quadro 3.1 – Cineteatros credenciados na Rede de Teatros e Cineteatros Portugueses se continuam ativos e se a sua programação é regular. [35] .....	
Quadro 3.2 – Valores máximos e valores ideais para alguns parâmetros relativos a estilos de música [2][38] .....	
Quadro 4.1 – Caracterização técnica do espaço cénico.....	
Quadro 4.2 – Dimensões da sala de espetáculo do Cineteatro Eduardo Brazão.....	
Quadro 5.1 – Resultado das medições do tempo de reverberação (T30) na sala de espetáculos do Cineteatro Eduardo Brazão em bandas de frequência de terço de oitava, de cada lugar medido, incluindo a media aritmética das medições de todos os lugares divididos por banda de frequência .....	
Quadro 5.2 – Valores médios do tempo de reverberação medidos no Cineteatro Eduardo Brazão para as bandas de frequência de 1/1 oitava entre os 500 e os 2.000 Hz, respetivo valor medio e o valor com a percentagem de incerteza de 35% aplicada, incluindo o valor regulamentar para a avaliação do cumprimento do RRAE.....	
Quadro 5.3 – Comparação dos valores ideais do tempo de reverberação (500 – 1.000 Hz) em função do tipo de utilização [1] com o valor médio obtido na sala vazia do CTEB (1,10 s).....	
Quadro 5.4 – Parâmetros usados para o cálculo do tempo de reverberação com a sala toda ocupada..	
Quadro 5.5 – Cálculo dos valores previsíveis do tempo de reverberação para a sala ocupada para cada banda de 1/1 de oitava de 125 a 4.000 Hz.....	
Quadro 5.6 – Resultados das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) na sala de espetáculos, com o AVAC desligado, nos diferentes pontos medidos, incluindo a média energética das medições nos diferentes pontos para as bandas de frequência dos 12,5 aos 20.000 Hz, com os	

valores do nível de pressão sonora contínuo equivalente de cada ponto medido, sem a ponderação do filtro A (Leq) e com a ponderação do filtro A (laeq) .....	
Quadro 5.7 – Resultados das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) na sala de espetáculos, com o AVAC ligado, nos diferentes pontos medidos, incluindo a média energética das medições nos diferentes pontos para as bandas de frequência dos 12,5 aos 20.000 Hz, com os valores do nível de pressão sonora contínuo equivalente de cada ponto medido, sem a ponderação do filtro A (Leq) e com a ponderação do filtro A (laeq) .....	
Quadro 5.8 – Valores dos níveis sonoros contínuos equivalentes com o AVAC ligado (medidos, regulamentares e com a incerteza associada) .....	
Quadro 5.9 – Valores máximos recomendados do nível NR. [38] .....	
Quadro 5.10 – Valores máximos recomendados do nível NC. [1] .....	
Quadro 5.11 – Valores do parâmetro RASTI medidos na sala de espetáculos do CTEB.....	
Quadro 6.1 – Resumo dos parâmetros acústicos do CTEB .....	



## SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

- A – Absorção sonora equivalente
- AC – *Articulation Class*
- A<sub>j</sub> – Absorções sonoras localizadas
- AI – Índice de Articulação
- AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado
- B – Largura da banda
- c – Celeridade (m/s)
- C<sub>80</sub> – Claridade
- CTEB – Cineteatro Eduardo Brazão
- D<sub>50</sub> – Definição
- DS(T) – Decaimento sonoro em função do tempo
- E<sub>i</sub> – Energia incidente
- E<sub>a</sub> – Energia absorvida
- E<sub>t</sub> – Energia transmitida
- E<sub>r</sub> – Energia Refletida
- f – Frequência (Hz)
- I – Intensidade sonora (w/m<sup>2</sup>)
- ISO – *International Organization for Standardization*
- L<sub>aeq</sub> - Nível sonoro equivalente
- L<sub>eq</sub> - Nível de pressão sonora contínuo equivalente
- L<sub>i</sub> – Nível de intensidade sonora (dB)
- L<sub>p</sub> – Nível de pressão sonora (dB)
- L<sub>w</sub> – Nível de potência sonora (dB)
- m – Absorção sonora do ar (m<sup>-1</sup>)
- p – Pressão (Pa)
- p<sub>at</sub> – Pressão atmosférica (Pa)
- p<sub>0</sub> – Pressão sonora de referência [2\*10<sup>-5</sup> Pa]
- p<sub>t</sub> – Pressão sonora (Pa)
- Q – Coeficiente de direccionalidade
- r – Distância (m)
- RASTI - *Rapid Speech Transmission Index*
- RNTC – Rede Nacional de Teatros e Cineteatros

RRAE - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

RTCP – Rede de Teatros e Cineteatros Portugueses

S – Superfície real do material ( $m^2$ )

SIL – Nível de interferência na Conversação

STI – *Speech Transmission Index*

NC – *Noise Criterion*

NR – *Noise Rating*

TR – Tempo de reverberação (s)

T- Temperatura ( $^{\circ}C$ )

t – Tempo (s)

T- Período (s)

W – Potência (W)

$\alpha$  – Coeficiente de absorção sonora

$\lambda$  – Comprimento de onda (m)

$\rho$  – Massa volúmica do meio ( $kg/m^3$ )

# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO

O som ou mais concretamente as variações de pressão que existem no ar que é captadas pelo nosso sistema auditivo têm uma importância extrema para o ser humano. Desde sempre que a comunicação faz parte da normalidade do *homo sapiens* e foi graças à habilidade de falar que o nosso sistema auditivo evoluiu tão rapidamente e de uma forma particular para que fosse possível captar mais facilmente as frequências sonoras nas quais nos expressamos.

Com o decorrer dos anos foram surgindo novas formas de comunicar e com elas foram aparecendo edifícios que se consideravam adequados para as praticar. No entanto, a realidade é que esses edifícios eram projetados tendo como principal foco a satisfação visual das pessoas que os frequentavam deixando para 2º plano a qualidade acústica dos mesmos.

Portugal não foi exceção sendo que também esqueceu e desvalorizou a importância da acústica, o que culminou na construção de diversas salas acusticamente inadequadas. Assim, nos últimos anos tem-se vindo a notar um maior investimento no projeto acústico e na intervenção acústica. São exemplos disso a Casa da Música, os novos teatros de Vila Real e Bragança e o Teatro Helena Sá e Costa no Porto.[1]

Concluimos então que é preciso também reabilitar e tornar acusticamente adequados os edifícios mais antigos que foram construídos quando não era dado o devido valor a acústica, como é o caso do cineteatro Eduardo Brazão inaugurado em 1928.

### 1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

A finalidade desta dissertação é fazer a caracterização acústica do cineteatro Eduardo Brazão para verificar se após a reabilitação os parâmetros qualitativos cumprem com os valores regulamentares e com os valores ótimos definidos por outros autores. Os parâmetros que vão ser estudados são:

- Tempo de reverberação;
- *Rapid Speech Transmission Index* (RASTI)
- Nível de pressão sonora do ruído de fundo (LAeq)
- Curvas de incomodidade

Há que ter em conta que devido ao grande leque de atividades praticadas nesta sala poderá não ser possível satisfazer as necessidades de todas.

### **1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos.

No primeiro capítulo denominado “Introdução” faz o enquadramento da dissertação como explica também os objetivos da mesma.

O capítulo seguinte, “Conceitos e Definições”, explica alguns dos conceitos teóricos da acústica que serão mais importantes ter em conta ao longo da dissertação, este capítulo permite também ao leitor perceber os capítulos seguintes.

No terceiro capítulo, “Estado da arte”, procede-se a contextualização acústica e histórica dos cineteatros como são concebidos, as principais regras que devem cumprir de acordo com o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) e parâmetros importantes para avaliar a sua qualidade acústica. Por último as principais necessidades no seu processo de reabilitação de forma a cumprir com a sua multifuncionalidade.

No quarto capítulo intitulado “Medições” são apresentados os resultados obtidos nas medições realizadas no cineteatro Eduardo Brazão e os procedimentos usados para fazer as medições.

No quinto capítulo, “Resultados das Medições”, são feitas as considerações em relação aos resultados obtidos no capítulo anterior é ainda neste capítulo que é feita uma qualificação do Cineteatro Eduardo Brazão tendo em conta outras salas de espetáculos anteriormente estudadas.

No último capítulo, “Conclusão”, são tiradas as conclusões da dissertação e apresentados possíveis desenvolvimentos futuros sobre o tema estudado.



# 2

## CONCEITOS E DEFINIÇÕES

### 2.1. INTRODUÇÃO

Para uma melhor compreensão dos temas que vão ser apresentados ao longo desta dissertação, é preciso não só ter conhecimentos básicos em acústica assim como a definição de som e como este se propaga mas também perceber os três domínios nos quais se pode estudar o som (pressão, frequência e tempo), por fim é também necessário entender conceitos da acústica, que ao longo do desenvolvimento deste trabalho, vão realçar a área da acústica de edifícios.

### 2.2. ANÁLISE DA PRESSÃO

#### 2.2.1. O SOM

O som é a propagação de uma onda mecânica segundo um meio, ou seja, é uma vibração que se propaga através do ar em todas as direções. Como o som é uma onda tridimensional faz com que esta tenha de ser uma onda longitudinal, isto é, propaga-se por um meio perpendicular à vibração que o gerou.

Aquilo a que se chama som não é mais que a captação, feita pelo sistema auditivo, de mudanças de pressão que se propagam no ar que por sua vez provocam a estimulação do cérebro. [1]

Segundo Luís Henrique, as características do som dividem-se em dois grupos (figura 2.1): Físicas, que são as características mensuráveis (apresentam um valor numérico) e psicológicas que são apenas subjetivas variando de pessoa para pessoa.

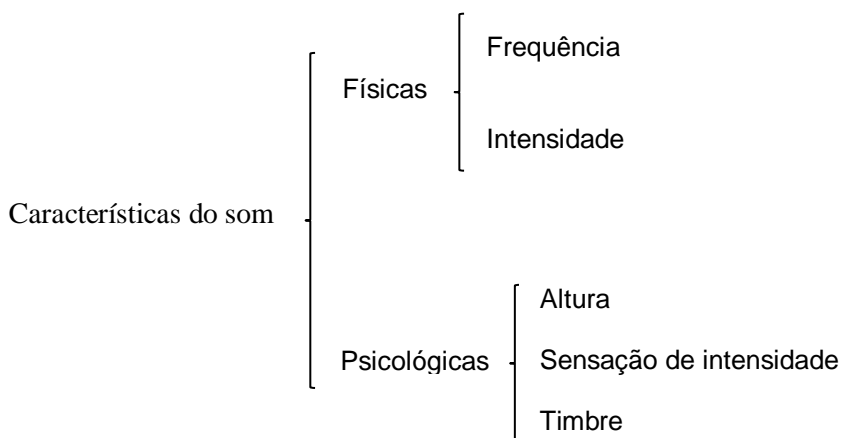


Figura 2.1 – Características do som [21]

### 2.2.2 OUVIDO HUMANO

Para se poder falar de som e de acústica é primeiramente necessário perceber a anatomia do ouvido humano pois sem este não seria possível captar as variações de pressão que ocorrem e transformar as mesmas em informação.

O ouvido humano está dividido em três partes (Figura 2.2):

- Ouvido externo – constituído pelo pavilhão que é responsável pela captação das ondas sonoras, de seguida estas são direcionadas para o canal auditivo que tem 2 ou 3 cm e termina na membrana do tímpano;
- Ouvido médio – ou caixa do tímpano é uma cavidade que contém ar à pressão atmosférica e é constituído pelos ossículos (martelo, bigorna e estribo) que servem como um amplificador e fazem a ligação entre o tímpano e a janela oval.
- Ouvido interno – Constituído pela cóclea, cavidade caracterizada pela sua forma complicada que evita que a cavidade haja como um ressoador, que leva a vibração ao nervo auditivo onde se dá à transformação da vibração em informação.

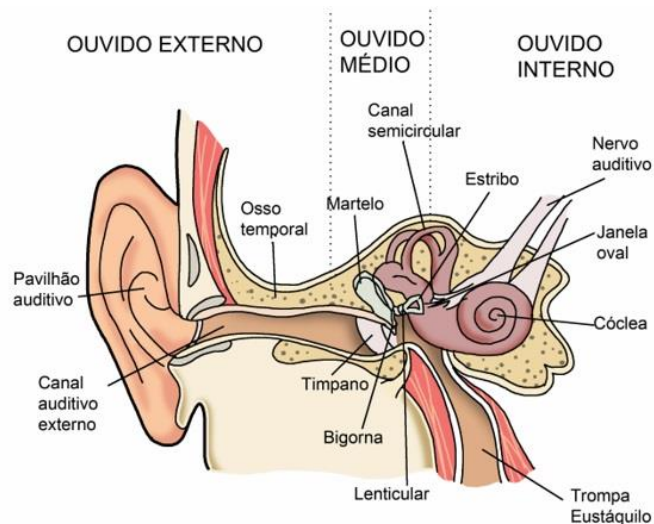


Figura 2.2 – Esquema do ouvido humano. [5]

### 2.2.3. PROPAGAÇÃO DO SOM NO AR

O som resulta da alteração da pressão num meio elástico que é provocada por um estímulo. Nesta dissertação, este meio é o ar e o som propaga-se nele sob a forma de ondas esféricas concêntricas, sendo a fonte do estímulo, o centro.[1]

Um estímulo sonoro, fisicamente, não é mais que a vibração do meio elástico que, uma vez estimulado vai por sua vez estimular as partículas à sua volta, criando zonas de compressão e de rarefação que se propagam no espaço (Figura 2.3).[1]

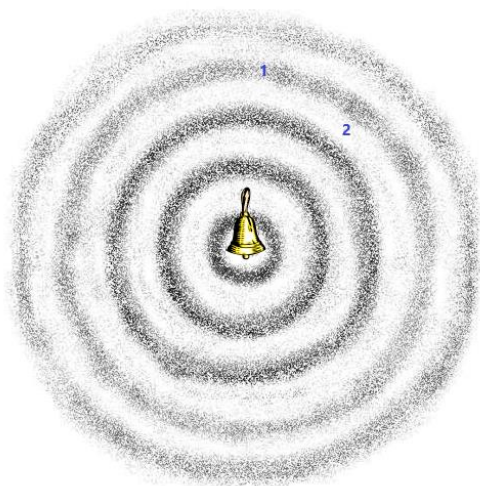


Figura 2.3 – Propagação do som (2D). [2]  
1-Zona de compressão; 2- Zona de rarefações

### 2.2.4. PRESSÃO ATMOSFÉRICA E TEMPERATURA

Um dos elementos mais importantes a ser medido é a variação da pressão no meio onde se propagam as ondas sonoras. Esta variação de pressão é provocada pela colisão das partículas do meio, umas contra as outras consecutivamente, sendo que estas voltam sempre à sua posição inicial.

A variação da pressão no meio é sempre medida tendo como referência a pressão atmosférica normal ( $P_{at}$ ), representada na figura 2.4, cujo valor é aproximadamente 101.400 Pa.

É também importante referir que o ouvido humano apenas capta uma variação muito pequena de pressão em torno da pressão atmosférica normal. [1]

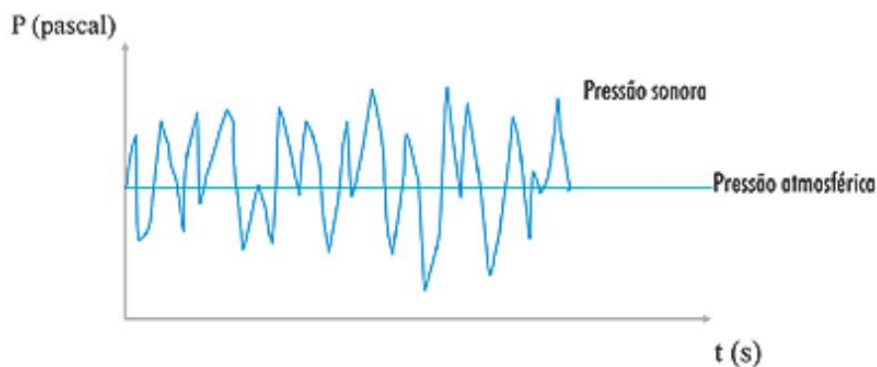


Figura 2.4 – Pressão sonora ( $P_i$ ) e pressão atmosférica ( $P_{at}$ ). [3]

### 2.2.5 CELERIDADE

A celeridade ( $c$ ) corresponde a velocidade com a qual as ondas sonoras se propagam e é afetada pelo meio onde se esta a propagar a onda e pela temperatura desse meio.

A fórmula da celeridade no ar (expressão 2.1) é dada pela seguinte expressão:[1]

$$c = 20,045 \sqrt{T} \quad (2.1)$$

Sendo a celeridade expressa em metros por segundo (m/s) e aonde  $T$  corresponde à temperatura do meio dada em graus kelvin (K). A seguinte fórmula (expressão 2.2) é utilizada para converter a temperatura em graus celsius (°C):[1]

$$T(K) = 273,15 + \theta \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (2.2)$$

Sendo que  $\theta$  é a temperatura do meio em graus celsius.

### 2.2.6. INTENSIDADE E POTÊNCIA SONORA

A intensidade sonora ( $I$ ) corresponde a quantidade média de energia que atravessa por unidade de tempo uma área de  $1 \text{ m}^2$  na vertical e é medida em  $\text{W/m}^2$ . [1]

A potência sonora ( $W$ ) é uma característica da fonte e define-se como a quantidade de energia total que num segundo atravessa uma esfera fictícia de um qualquer raio centrada na fonte. O valor de potência sonora é dado em  $W$ . [1]

Estas duas grandezas estão relacionadas entre si como se pode ver na figura 2.5:

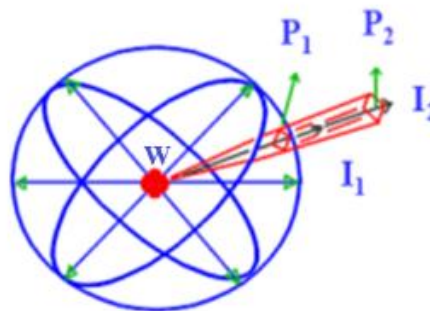


Figura 2.5 – Inter-relação entre potência ( $W$ ), pressão ( $p$ ) e intensidade ( $I$ ) [4]

Considerando uma fonte sonora que emite uma determinada potência em watt ( $W$ ) e, considerando a esfera fictícia referida anteriormente que existe em torno da fonte, a área da esfera é dada por  $4\pi r^2$ . Assim a intensidade sonora  $I$  será dada pela seguinte expressão (expressão 2.3):

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho c} \quad (2.3)$$

Em que:

- $I$  - Intensidade sonora ( $\text{W/m}^2$ );
- $W$  - Potência sonora ( $W$ );
- $r$  - Distância (m);
- $p$  - Pressão sonora (Pa);
- $\rho$  - Massa volúmica do meio (ar)  $\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$
- $c$  - Celeridade (m/s)

### 2.2.7 NÍVEIS

O ser humano tem uma grande gama de audibilidade no domínio da pressão sendo que esta varia entre os  $10^{-5}$  Pa, limiar da audição e os 100 Pa, limiar da dor.

Sendo que o ouvido humano não responde de uma forma linear aos estímulos, mas sim de um modo muito próximo do logarítmico, é por isso comum expressar os valores de pressão, intensidade e potência em níveis.

A unidade em que são apresentados estes níveis é o decibel (dB) onde 0 dB será o equivalente do limiar da audição e aproximadamente 130 dB será o limiar da dor, na figura 2.6 pode-se comparar as duas escalas.

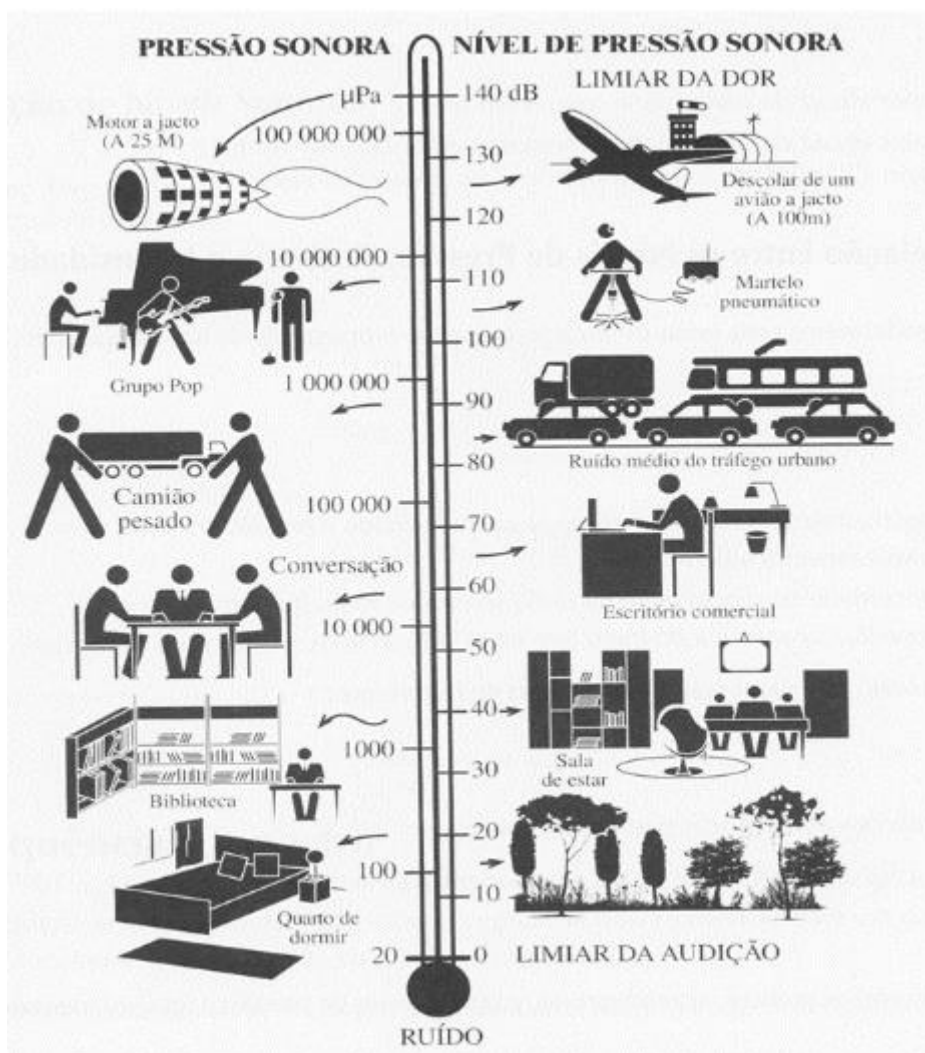


Figura 2.6 – Pressão sonora e nível de pressão sonora [4]

Para se converter pressões ( $p$ ) em níveis de pressão sonora ( $L_p$ ), recorre-se à seguinte expressão 2.4:

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (2.4)$$

Onde temos:

- $p$  – Pressão sonora (Pa);
- $p_0$  – Pressão sonora de referência ( $2 \cdot 10^{-5}$  Pa).

Para se transformar intensidades ( $I$ ) em níveis de intensidade sonora ( $L_I$ ), utiliza-se a expressão 2.5.

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.5)$$

Onde:

- $I$  – Intensidade sonora ( $\text{W}/\text{m}^2$ );
- $I_0$  – Intensidade sonora de referência ( $10^{-12}$   $\text{W}/\text{m}^2$ ).

Para se converter potências ( $W$ ) em níveis de potência sonora ( $L_w$ ), usa-se a expressão 2.6.

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad (2.6)$$

A expressão geral para a soma de  $n$  níveis de pressão, intensidade ou potência sonora é dada pela expressão 2.7.

$$L_{total} = 10 * \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2.7)$$

## 2.3 ANÁLISE EM FREQUÊNCIA

### 2.3.1 DEFINIÇÃO E UNIDADES

A frequência é uma característica muito importante na descrição de um sinal sonoro uma vez que quase todos os sons abrangem diferentes frequências e as fontes sonoras são muitas vezes distinguidas pelas frequências que emitem [1].

A frequência é medida em hertz (Hz) e representa a taxa de ocorrência das flutuações completas de pressão por segundo [1].

É importante referir que o ouvido humano só é capaz de distinguir frequências entre os 20 e os 20.000 Hz sendo os sons com frequência inferior a 20 Hz considerados infrassons e os sons com frequência superior aos 20.000 Hz os ultrassons, como se pode ver na figura 2.7.

Ao longo deste trabalho vai-se dividir a frequências em três zonas sendo elas:

- Frequências graves: 20 a 355 Hz;
- Frequências médias: 355 a 1.410 Hz;
- Frequências agudas: 1.410 a 20.000 Hz.

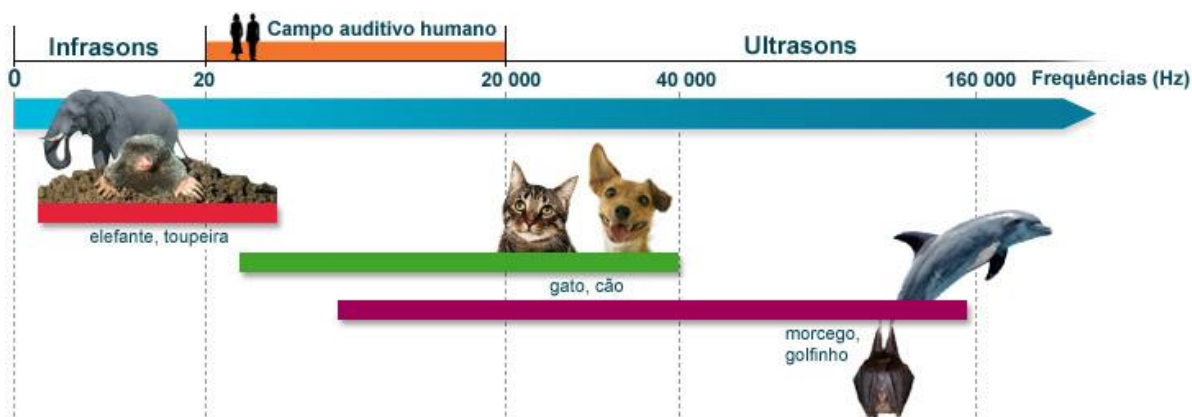


Figura 2.7 – Gamas de frequência audíveis para alguns seres vivos [5]

### 2.3.2 BANDAS DE FREQUÊNCIAS

As bandas de frequências não são mais que a separação dos ruídos em agrupamentos de frequência porque senão seria impossível uma análise extensiva para os milhares de frequências existentes.[1] Sendo assim pode-se dizer que uma banda é o conjunto de frequências entre um limite inferior ( $f_1$ ) e um limite superior ( $f_2$ ). O valor médio ( $f_0$ ) corresponde a frequência central e é dado pela expressão 2.8.

$$f_0 = \sqrt{f_1 * f_2} \quad (2.8)$$

A largura de banda (B) é dada pela diferença entre o limite superior e inferior dessa mesma banda (expressão 2.9). Existem diversas bandas de frequência, no entanto na acústica de edifícios e para esta dissertação irão apenas ser utilizadas as bandas de 1/1 oitava e de 1/3 de oitava (Quadro 2.1). [1][7]

$$B = f_2 - f_1 \quad (2.9)$$

Quadro 2.1 – Frequência central com os limites das bandas de frequência de terços de oitava e de oitava [8]

Frequência Central (Hz)	Banda de terços de oitava (Hz)	Bandas de oitava (Hz)
<b>100</b>	89,1 – 112	89,1 – 178
<b>125</b>	112 – 141	
<b>160</b>	141 – 178	
<b>200</b>	178 – 224	178 – 355
<b>250</b>	224 – 282	
<b>315</b>	282 – 355	
<b>400</b>	355 – 447	355 – 708
<b>500</b>	447 – 562	
<b>630</b>	562 – 708	
<b>800</b>	708 – 891	708 – 1.410
<b>1.000</b>	891 – 1120	
<b>1.250</b>	1.120 – 1.410	
<b>1.600</b>	1.410 – 1.780	1.410 – 2.820
<b>2.000</b>	1.780 – 2.240	
<b>2.500</b>	2.240 – 2.820	
<b>3.150</b>	2.820 – 3.550	2.820 – 5.620
<b>4.000</b>	3.550 – 4.470	
<b>5.000</b>	4.470 – 5.620	



### 2.3.3 CURVAS DE PONDERAÇÃO

Ao contrário de, por exemplo, microfones que captam as pressões sonoras com total rigor de todas as frequências do som, o ouvido humano não é capaz do mesmo pois interpreta e valoriza o som dependendo da frequência com a qual este é emitido [1].

Sendo assim, é necessário adaptar a sensibilidade dos equipamentos de forma que estes se aproximem mais do ouvido humano e para tal são aplicados filtros que corrigem os valores medidos [1].

As curvas representadas na figura 2.8 são denominadas de curvas de ponderação e estas representam as correções referidas anteriormente. É também importante referir que na atualidade as curvas B e C caíram em desuso e que a curva D é utilizada no caso especial do ruído dos aviões e que a curva A é aquela que é universalmente aceite. No quadro 2.2 são representados os valores de ponderação do “filtro A” que devem ser aplicados à gama de sons em estudo.

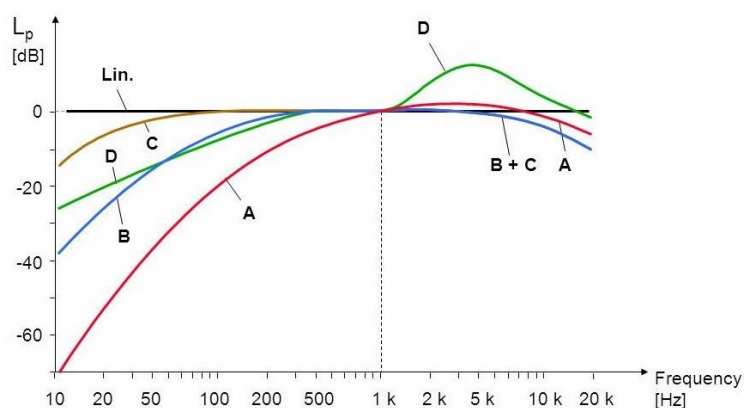


Figura 2.8 – Descrição das curvas de ponderação (filtros) A, B, C e D [1]

Quadro 2.2 – Valores de ponderação do “filtro A” por banda de frequência de 1/3 de oitava e oitava (bandas de frequência de 1/1 oitava célula a cinzento) [1]

Banda de Frequência (Hz)	Ponderação A para 1/3 de oitava	Ponderação para uma oitava	Banda de Frequência (Hz)	Ponderação A para 1/3 de oitava	Ponderação para uma oitava
12,5	-63,4	-57	800	-0,8	0
16	-56,7		1.000	0	
30	-50,5		1.250	0,6	
25	-44,7	-40	1.600	1,0	+1
31,5	39,4		2.000	1,2	
40	-34,6		2.500	1,3	
50	-30,2	-26	3.150	1,2	+1
63	-26,2		4.000	1,0	
80	-22,5		5.000	0,5	
100	-19,1	-15,5	6.300	-0,1	-1
125	-16,1		8.000	-1,1	
160	-13,4		10.000	-2,5	
200	-10,9	-8,5	12.500	-4,3	-7
250	-8,6		16.000	-6,6	
315	-6,6		20.000	-9,3	
400	-4,8	-3			
500	-3,2				
630	-1,9				

### 2.3.4 RUÍDOS BRANCO E ROSA

Na acústica existem dois tipos de ruídos muito utilizados em testes, o ruído branco e o ruído rosa.

O ruído branco abrange toda a gama de frequências audíveis e como na luz branca que é composta por energia igualmente distribuída por todo o espectro também o ruído branco é composto por igual energia em todas as frequências.

O ruído rosa também abrange todas as frequências entre os 20 e os 20.000 Hz, no entanto é mais suave uma vez que para frequências menores tem maior energia e cresce 3dB/oitava [1][10].

O ruído rosa tem tido um papel importante na verificação de características relativas a acústica em salas de espetáculo como por exemplo a reverberação e a ressonância [11].

### 2.3.5 COMPRIMENTO DE ONDA

As ondas sonoras têm também como característica a sua “dimensão” e trata-se por “comprimento de onda” ( $\lambda$ ) que corresponde à distância entre dois pontos iguais consecutivos de uma onda periódica (figura 2.9). [1]

O comprimento de onda pode ser obtido através da expressão 2.10.

$$\lambda = c * T = \frac{c}{f} \quad (2.10)$$

Sendo,

- $\lambda$  – Comprimento de onda (m);
- $c$  – Celeridade (m/s);
- $T$  – Período (s);
- $f$  – Frequência (Hz).

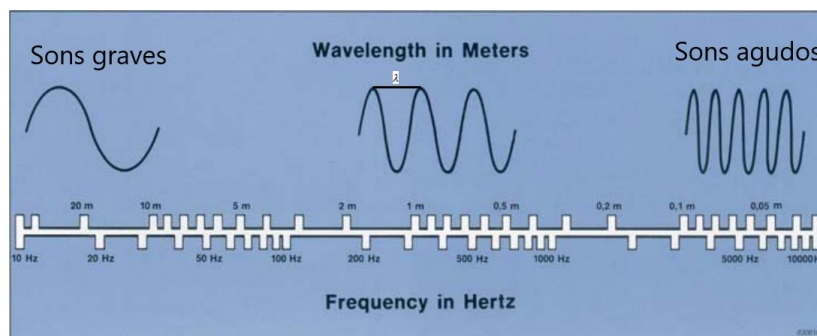


Figura 2.9 – Definição de comprimento de onda (adaptado de [7])

O comprimento de onda é o principal responsável por influenciar o comportamento das ondas sonoras face a obstáculos. Para grandes comprimentos de onda em que o obstáculo é comparativamente pequeno este pode considerar-se inexistente (figura 2.10). Para pequenos comprimentos de onda onde a dimensão do obstáculo é superior a este cria-se uma zona de sombra na parte de trás do obstáculo (figura 2.10).

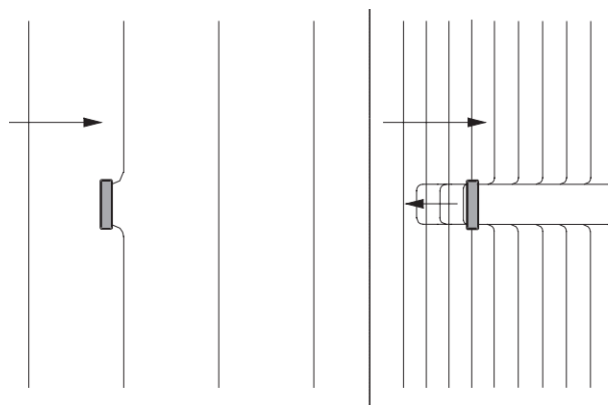


Figura 2.10 – Influência do comprimento de onda face a obstáculos, na situação da esquerda para baixas frequências e um obstáculo pequeno e na direita para altas frequências e um obstáculo maior que o comprimento da onda (adaptado de [12])

## 2.4. ANÁLISE NO TEMPO

### 2.4.1 DEFINIÇÃO

A duração de um ruído é outro fator relevante no estudo de ondas sonoras uma vez que há ruídos quase instantâneos e outros que se prolongam ao longo do tempo. Esta inconsistência temporal exige que para descrever um fenómeno sonoro se recorram a parâmetros com base no fator tempo [1].

A pressão, na maior parte das vezes, varia com o tempo entre valores máximos e mínimos atingidos. Um exemplo disto pode ser dado por uma sala de aulas vazia onde o valor está à volta dos 35 dB e o seu valor máximo quando ocupada pode chegar aos 100 dB. Como tal é necessário recorrer a parâmetros que permitam avaliar segundo um único valor o acontecimento acústico (num dado intervalo de tempo) [1].

### 2.4.2 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA CONTINUO EQUIVALENTE

O nível de pressão sonora contínuo equivalente ( $L_{eq}$ ) estabelece um nível que, se atuasse de forma constante num dado intervalo de tempo, iria criar a mesma energia que o som que está a ser avaliado e é calculado através expressão 2.11.

$$L_{eq} = 10 * \log \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad (2.11)$$

## 2.5 ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS

### 2.5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo há duas formas de análise completamente diferentes que são importantes distinguir: A “correção acústica”, na qual o principal objetivo é corrigir algo dentro da sala em estudo onde o som está a ser transmitido por exemplo reduzir o eco num auditório; “Isolamento sonoro” onde se trata da sala tendo em conta o que a rodeia. Um exemplo disto seria utilizar material com maior isolamento numa discoteca para o ruído não incomodar a vizinhança [1].

### 2.5.2 ABSORÇÃO SONORA

A absorção sonora (figura 2.11) corresponde à propriedade que alguns materiais têm de transformar uma parte da energia sonora que recebem noutro tipo de energia sendo esta energia normalmente térmica. A energia incidente que não é absorvida é refletida pelo material ou transmitida através deste [1].

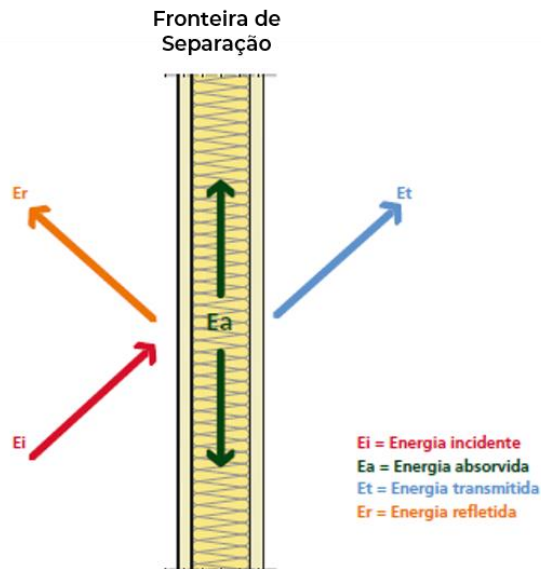


Figura 2.11 – Mecanismo de absorção sonora [13]

A razão entre a energia absorvida ( $E_a$ ) por um determinado material e a energia incidente ( $E_i$ ) dá-se o nome de coeficiente de absorção sonora ( $\alpha$ ) (expressão 2.12).

$$\alpha = \frac{E_{\text{Absorvida}}}{E_{\text{Incidente}}} \quad (2.12)$$

O valor do coeficiente de absorção sonora varia entre zero e um. Sendo zero o valor correspondente a um material que reflete completamente a energia em si incidente enquanto o valor 1 corresponde a um material que absorve toda a energia sonora que nele incide.

Um material com coeficiente de absorção de 0,3 significa que este absorve 30% da energia sonora que entra em contacto com ele e os restantes 70% são refletidos ou transmitidos através do material.

Um bom material absorvente, para que seja eficaz, tem de ter um  $\alpha$  superior a 0,5. [1]

O coeficiente de absorção sonora pode ser determinado através de dois métodos: método do tubo de ondas estacionárias ou pelo método da câmara reverberante:

- O tubo de ondas estacionárias consiste num longo tubo metálico onde numa extremidade está a amostra a testar enquanto na outra existe um pequeno altifalante. Ligando o altifalante este começa a criar ondas estacionárias, captadas pelo microfone ligado ao sistema. (figura 2.13)
- A câmara reverberante é um método mais eficaz do que aquele referido anteriormente uma vez que aquele só obtém resultados válidos do coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) para uma incidência perpendicular. A câmara reverberante não é nada mais que uma sala aonde todas as suas superfícies são refletoras ( $\alpha \approx \text{nulo}$ ) onde é colocada a amostra (de maiores dimensões do que aquela do método anterior), depois de medido o tempo de reverberação este é comparado ao tempo com a sala vazia obtendo-se o coeficiente de absorção sonora com o auxílio da fórmula de Sabine. (figura 2.12) [1]

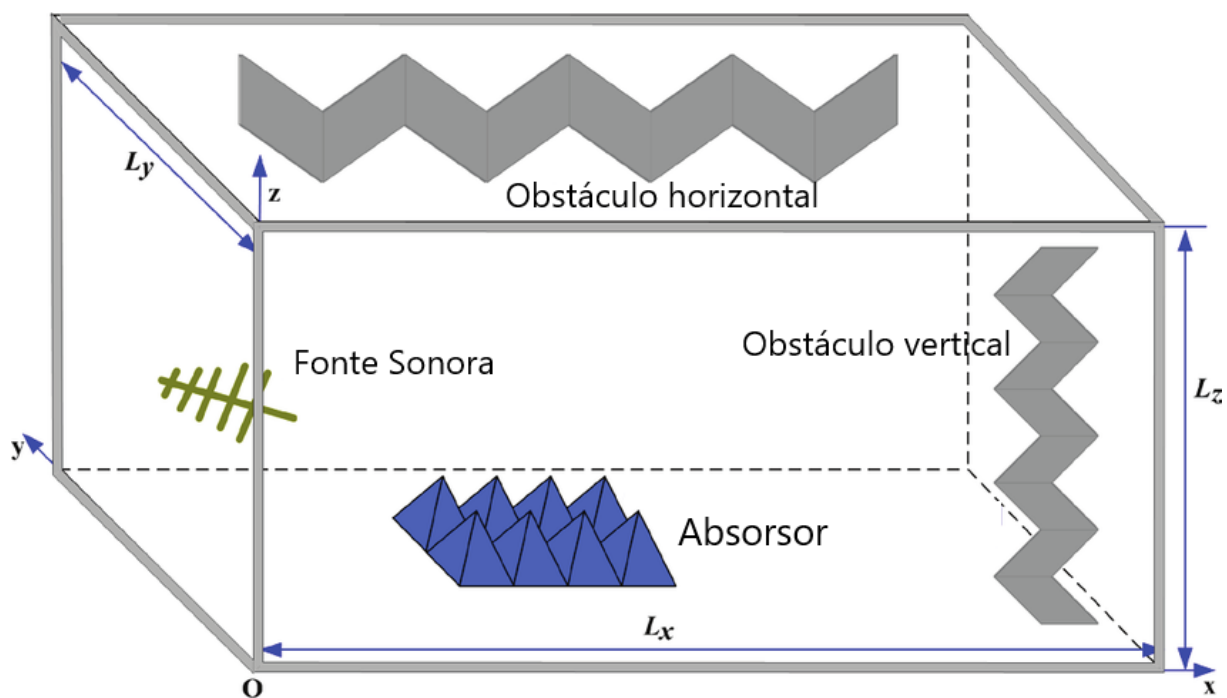


Figura 2.12 – Esquema de uma câmara reverberante (adaptado de [14])

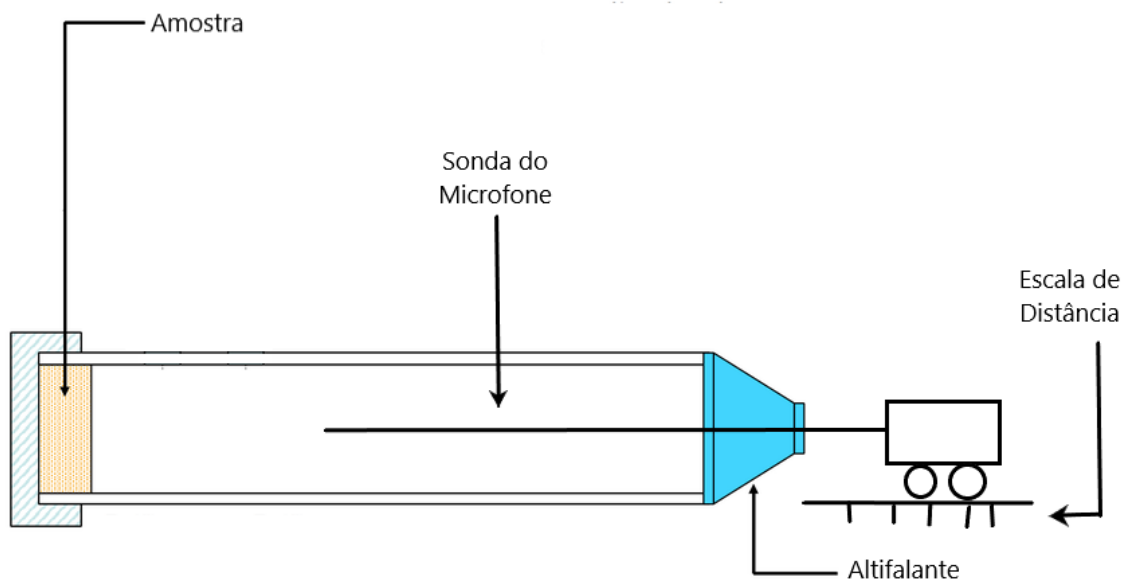


Figura 2.12 – Esquema de um tubo de ondas estacionárias (adaptado de [15])

### 2.5.3 TEMPO DE REVERBERAÇÃO

#### 2.5.3.1 DEFINIÇÃO

As ondas sonoras que são criadas numa sala com uma fonte sonora em funcionamento podem ser de duas origens: diretas ou refletidas. As ondas diretas são aquelas que atingem o ouvinte após um percurso retilíneo desde a fonte sonora até ao mesmo, por outro lado, as ondas refletidas são aquelas que alcançam o recetor após terem sido refletidas em uma ou mais superfícies existentes na sala. [1].

Pode-se desta forma afirmar que após a chegada da onda direta ao recetor seguem-se as ondas refletidas que vão chegando sucessivamente e cada vez mais fracas devido as múltiplas reflexões, à absorção sonora que acontece em alguns dos materiais nos quais elas incidem e devido a absorção do próprio meio [1].

Por último pode-se definir tempo de reverberação (TR) como a medida de tempo (em segundos) após a fonte sonora ser interrompida, que um som refletido leva até deixar de ser ouvido. Mais corretamente o tempo de reverberação é o tempo que o nível de pressão sonora precisa para diminuir em 60 dB, após a fonte sonora que o está a transmitir, ser desligada (figura 2.14) [16].

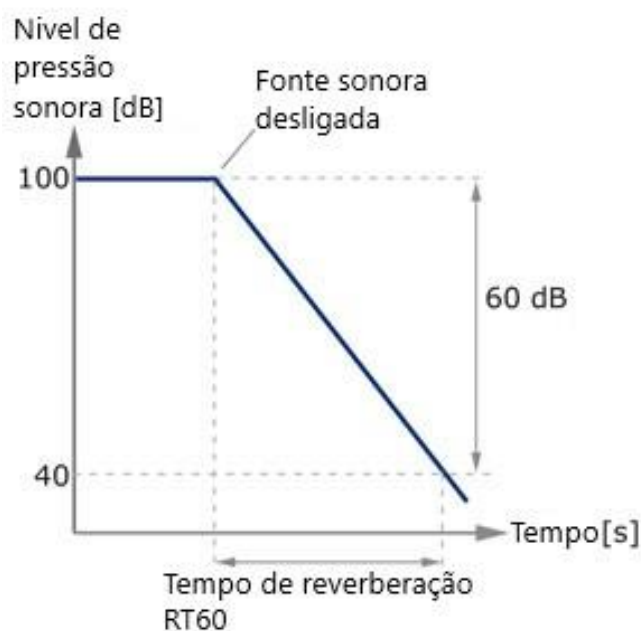


Figura 2.14 – Gráfico do Tempo de reverberação (adaptado de [16])

#### 2.5.3.2 MEDIÇÃO

Os gráficos como o da figura 2.14 são obtidos com o auxílio de uma fonte sonora potente e são feitos pela medição da diminuição do nível de pressão sonora no local após ser findado o som de teste. Um requisito importante nestes ensaios é que as fontes sonoras têm de emitir uma energia potente em todo o espectro de frequências para assegurar que o decaimento é mais forte que o ruído de fundo. São exemplo de fontes sonoras os altifalantes e as pistolas de pólvora seca. [1]

## 2.5.3.3 FÓRMULAS DE PREVISÃO

A primeira pessoa que conseguiu relacionar o tempo de reverberação com a absorção sonora e o volume foi Wallace Clement Sabine através da seguinte expressão (2.13):

$$TR = \frac{0,16 * V}{A} \dots (2.13)$$

TR- Tempo de reverberação (s);  
V- Volume do compartimento (m<sup>3</sup>);  
A- Absorção sonora equivalente (m<sup>2</sup>).

Sendo que a absorção sonora (A) é obtida através da expressão 2.14.

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i * S_i \quad (2.14)$$

$\alpha$  – Coeficiente de absorção sonora do material;  
S – Superfície real do material (m<sup>2</sup>),

Ainda hoje a formulação de Sabine continua a ser a mais comum sendo esta escrita de forma mais detalhada (expressão 2.15) tendo em conta não só a absorção sonora do ar, mas como também as absorções sonoras localizadas.

$$TR = \frac{0,16 * V}{\sum_{i=1}^N \alpha_i * S_i + \sum_{j=1}^m A_j + mV} \quad (2.15)$$

A<sub>j</sub> – Absorções sonoras localizadas (Quadro 2.3);  
m – Absorção sonora do ar (m<sup>-1</sup>) (Quadro 2.4).

Quadro 2.3 – Valores de algumas absorções localizadas em m<sup>2</sup> para as diferentes frequências do som emitido [1]

Absorção localizada (m <sup>2</sup> )	125	250	500	1k	2k	4k
Pessoa de pé	0,19	0,33	0,44	0,42	0,46	0,37
Músico de orquestra com instrumento	0,40	0,85	1,15	1,40	1,30	1,20
Cadeira ou pequena mesa de madeira ou metal	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04
Cadeira de Madeira ocupada	0,17	0,36	0,47	0,52	0,50	0,46
Cadeira estofada ocupada	0,35	0,38	0,38	0,39	0,41	0,42

Quadro 2.4 – Absorção sonora do Ar em função da humidade relativa para as diferentes frequências [1]

HR (%)	< 1.000 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz	16.000 Hz
0	0	0	0	0	0	0
20	0	0,008	0,016	0,056	0,188	0,340
40	0	0,004	0,008	0,044	0,096	0,210
60	0	0,003	0,004	0,028	0,064	0,140
80	0	0,002	0,004	0,008	0,052	0,110

#### 2.5.3.4 EFEITOS DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O tempo de reverberação provoca dois efeitos contrários numa sala: por um lado aumenta o nível sonoro por causa da soma do som refletido ao som direto o que é um efeito positivo, mas por outro lado abafa os sons diretos pois o som refletido acaba por se sobrepor ao som direto o que é um efeito negativo salvo raras exceções.

##### A) EFEITO NA PALAVRA

O efeito mais importante provocado por um tempo de reverberação demasiado alto é a diminuição da inteligibilidade da palavra [1].

Na acústica a inteligibilidade da palavra pode ser definida como o quão fácil é perceber as palavras num espaço. A inteligibilidade da palavra é quantificada simplesmente medindo quantas palavras o recetor consegue ouvir e posteriormente escrever corretamente por exemplo se em 100 palavras o recetor conseguir escrever corretamente 60 a inteligibilidade da palavra é de 60% [17].

O conceito de inteligibilidade da palavra surgiu nos primórdios do telefone em 1920 de maneira a estabelecer um parâmetro para a qualidade das chamadas [17].

Na palavra pode-se distinguir as vogais das consoantes. As consoantes têm frequências mais altas, uma menor intensidade e uma menor duração (quadro 2.5). As vogais têm menor frequência, uma intensidade elevada e uma maior duração. Isto é importante porque uma vez que as consoantes têm uma menor duração e intensidade são mais facilmente sobrepostas pelas vogais causando uma diminuição da inteligibilidade da palavra.

Por último pode-se também observar que se o recetor estiver de costas voltadas para o emissor no caso das consoantes há perdas de cerca de 20 dB.

Quadro 2.5 – Variabilidade da emissão de voz entre vogais e consoantes [1]

Tipo	Frequência	Intensidade	Duração	Direccionalidade
Vogais	baixas	elevado	≅ 90 ms	-5 dB p/-180°
Consoantes	altas	baixo	≅ 20 ms	-20 dB p/-180°

Atualmente existem dois grandes tipos de parâmetros de medida de inteligibilidade da palavra os subjetivos e os objetivos sendo que nesta dissertação vamos abordar os posteriores os quais são:

- O índice de articulação (AI);
- O nível de interferência na conversação (SIL);
- A articulation class (AC);
- O *Speech transmission index* (STI) e o *Rapid speech transmission index* (RASTI).

Sendo que nestes parâmetros não entra a subjetividade humana e sendo estes abordados com maior rigor no capítulo 2.5.7 [1].



## B) EFEITO NA MÚSICA

Ao contrário da palavra, em salas cujo objetivo é realizar espetáculos de música o tempo de reverberação tem de ser um pouco maior.

Dentro dos diversos estilos e períodos musicais há diferenças enormes nos tempos de reverberação adequados como se pode verificar na figura 2.15 sendo que o menor valor é de 0,8s e corresponde a bandas de dança e o maior valor pode chegar aos 3,4s na música para órgão.

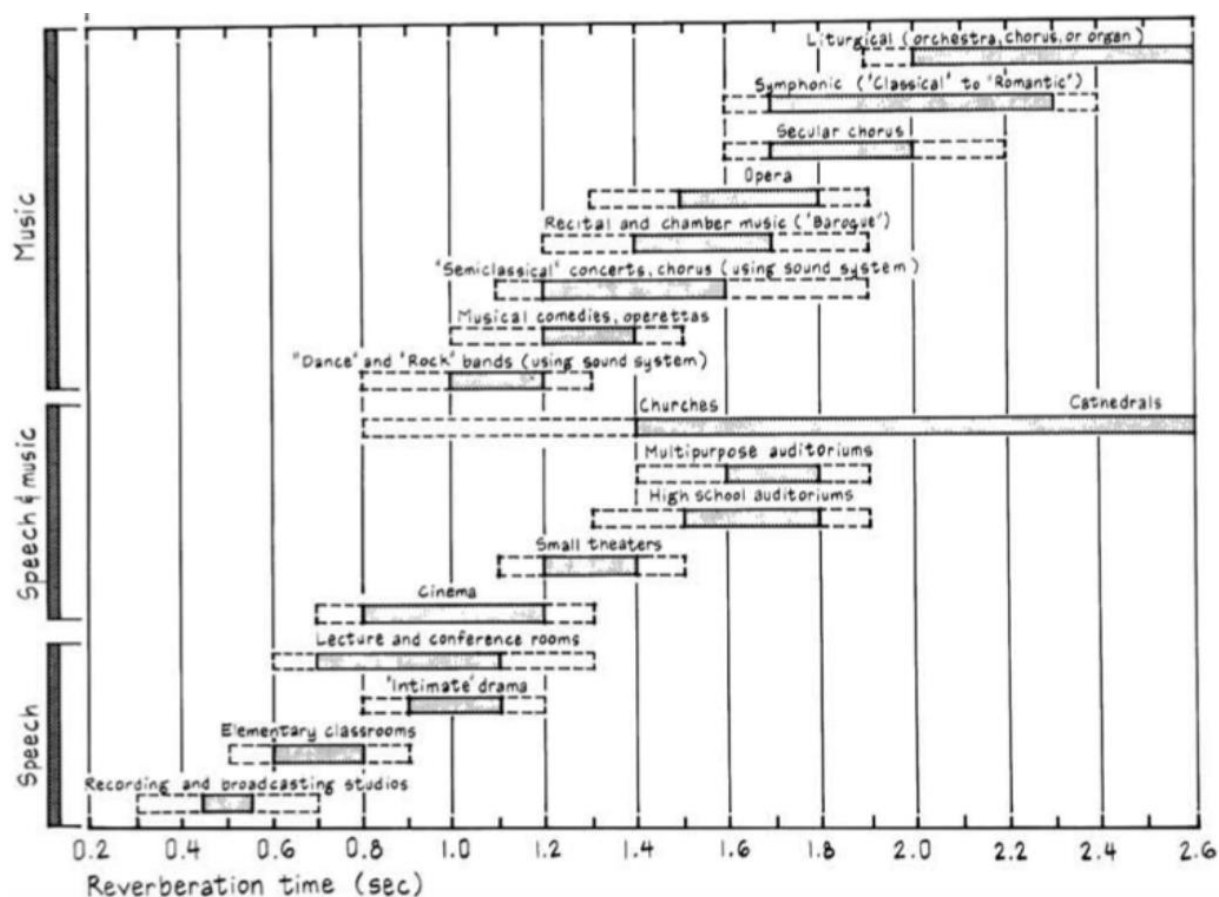


Figura 2.15 – Tempos de reverberação ideais em função do uso (adaptado de cavanaugh,1999) [18]

## 2.5.4 MATERIAIS E SISTEMAS ABSORVENTES SONOROS

### 2.5.4.1 CONCEITOS

Os materiais e sistemas absorventes sonoros podem ser divididos em 3 grupos tendo em conta as suas características básicas:

- Porosos e Fibrosos;
- Ressonadores;
- Membranas.

Estes materiais atuam todos eles em gamas distintas de frequência (figura 2.16).

Os materiais porosos são mais eficazes nas altas frequências, os ressonadores nas frequências médias e as membranas nas baixas frequências.

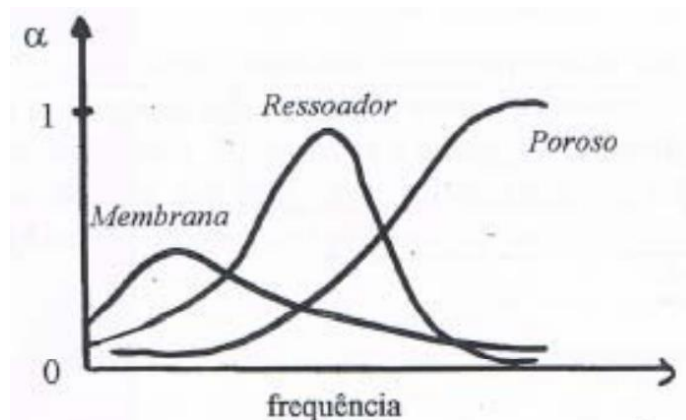


Figura 2.16 – Comportamento em frequência dos diferentes tipos de materiais e sistemas absorventes [1]

### 2.5.4.2 MATERIAIS POROSOS E FIBROSOS

Nas altas frequências, os denominados materiais porosos e fibrosos têm melhor desempenho. A capacidade destes materiais para absorver o som depende da presença de poros e interstícios. Quando as ondas sonoras atingem estes materiais fibrosos, uma parte da energia é transferida para o movimento das fibras, que são resistentes por fricção. Consequentemente, a energia é convertida em calor. Por outro lado, se as fibras estiverem demasiado juntas, não haverá muita penetração no material em questão e o fluxo de ar não produzirá fricção suficiente para ser útil. Bons materiais absorventes de som encontram-se entre estes dois extremos [1].

A capacidade destes materiais de dispersar energia dentro dos seus poros minúsculos determina a sua eficácia. Se tais poros forem preenchidos com substâncias, como quando se pinta tais superfícies, isto pode ser significativamente dificultado.

Os materiais porosos e fibrosos encontram-se divididos em subclasses dependendo das suas características físicas são estas:

- Tecidos e alcatifas;
- Massas porosas (para projeção);
- Aglomerados de fibras de madeira;
- Fibras minerais (mantas e painéis);
- Materiais plásticos (poliuretano expandido, espumas flexíveis de poliuretano);
- Aglomerados de cortiça (aglomerado negro).

## 2.5.4.3 RESSOADORES

Os ressoadores podem ser divididos em dois grupos, ressoadores isolados e ressoadores agrupados. Este tipo de sistemas atua com maior eficiência nas médias frequências ainda que possam ser utilizados noutras gamas de frequências, se for utilizado juntamente com o ressoador um material absorvente na caixa de ar (figura 2.17).

O ressoador isolado que pode ser também chamado por ressoador de Helmholtz (figura 2.18) é um sistema composto por uma cavidade (com paredes rígidas) e uma pequena abertura que liga a uma porção onde o ar ressalta, sendo que depois volta a sair pela mesma porção onde entrou. A frequência de eficácia máxima pode ser obtida pela expressão 2.16.

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V(L+1,6r)}} \dots (2.16)$$

Onde,

- $c$  – Celeridade (m/s);
- $S$  – área do gargalo ( $m^2$ );
- $V$  – Volume do ressoador ( $m^3$ );
- $r$  – Raio de cada perfuração (m).

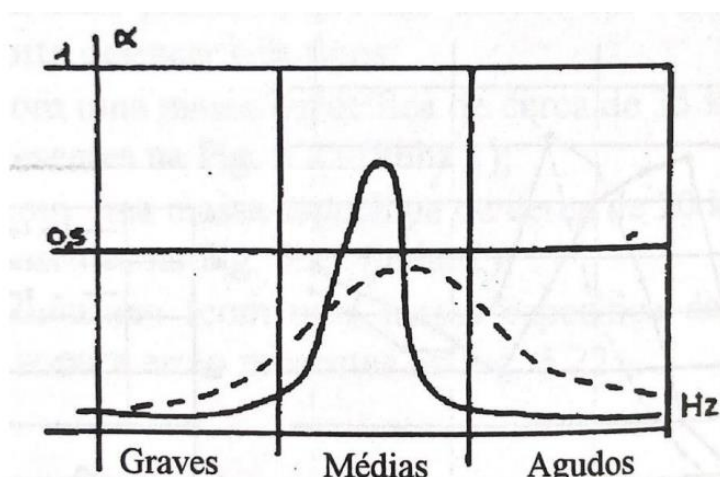


Figura 2.17 – Variação dos coeficientes de absorção sonora para ressoadores onde se verifica o efeito da inclusão de material absorvente sonoro na caixa de ar (linha tracejada) [1]

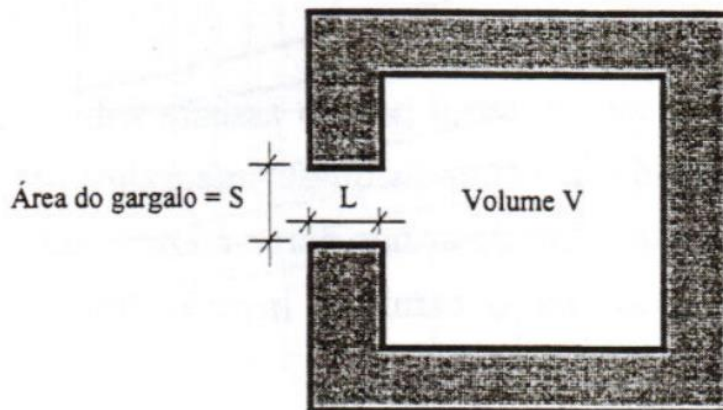


Figura 2.18 – Esquema de um ressoador de Helmholtz [19]

É mais frequente neste sistema serem utilizados os ressoadores agrupados (figura 2.19) que surgem normalmente na forma de painéis perfurados. Estes, ainda que tenham um funcionamento igual aos ressoadores isolados, têm uma expressão de calculo diferente (expressão 2.17) que é dada por:

$$f = \frac{10 * c}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{(e+1.6r)d}} \dots(2.17)$$

Sendo,

- P – Percentagem de área perfurada (%);
- r – Raio de cada perfuração (cm);
- e – Espessura da placa perfurada (cm);
- d – Largura da caixa de ar (cm).

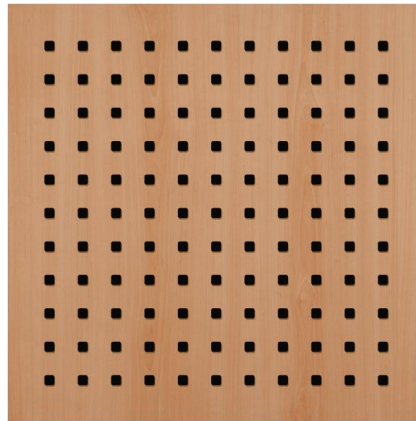


Figura 2.19 – Ressoador agrupado. [20]

#### 2.5.4.4 MEMBRANAS

As membranas são sistemas no qual o seu melhor desempenho é para as baixas frequências. Estes sistemas absorvem as ondas sonoras através da vibração de toda a sua estrutura que é composta por grandes áreas de pequena espessura e através de perdas de calor por fricção nas suas fibras quando o material entra em flexão. O sistema absorve e dissipa energia para aquela frequência do som incidente que corresponda à sua frequência natural de vibração [1].

#### 2.5.5 CAMPO SONORO

O campo sonoro criado num espaço fechado consiste no campo direto que tem origem nas ondas sonoras diretas e no campo reverberado que é criado pelas ondas sonoras refletidas.

Estes dois campos tendem a sobrepor-se, no entanto são predominantes um em relação ao outro em diferentes áreas deste espaço fechado. O som direto chega em primeiro lugar ao recetor sendo assim o campo direto é criado mais próximo do recetor por outro lado os sons refletidos têm um atraso a chegar ao recetor comparativamente aos sons diretos criando o campo reverberado mais afastado. Sendo assim o campo direto enfraquece com a distância, enquanto o campo reverberado é afetado pela absorção sonora do espaço.

Ambos estes campos têm influência naquilo a que se chama o nível de intensidade sonora perceptível (expressão 2.18) que consiste em somar ao nível de potência sonora da fonte ( $L_w$ ) as parcelas relativas a cada um destes campos.

$$L_I = L_w + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi * r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (2.18)$$

Onde,

- $Q$  – Coeficiente de direccionalidade da fonte sonora;
- $r$  – Distância entre a fonte sonora e o ouvinte (m);
- $R$  – “Constante R do local” =  $A/(1-\alpha_{\text{médio}})$ .

Estes conceitos têm principal interesse para fazer a correção de salas onde há grande ruído (fábricas) sendo que se pode atuar de duas formas:

- No campo direto (diminuindo a direccionalidade ou colocando ecrãs);
- No campo reverberado (aumentando a absorção do espaço).

### 2.5.6 ISOLAMENTO SONORO

Existem dois grandes tipos de ruído (figura 2.20): os ruídos de percussão em que há solicitação mecânica direta da fonte de irradiação sobre os elementos de construção e os ruídos de condução aérea em que a transmissão é feita unicamente por vibração do ar.



Figura 2.20 – Transmissão de ruído aéreo (esquerda) e de percussão (direita). [24]

Os ruídos ainda se podem subdividir em duas formas de transmissão por via direta e por via marginal. (figura 2.21)

As transmissões diretas são aquelas que existem nos elementos de separação comum (aos dois espaços) e as transmissões indiretas são aqueles que ocorrem através dos elementos na envolvente.

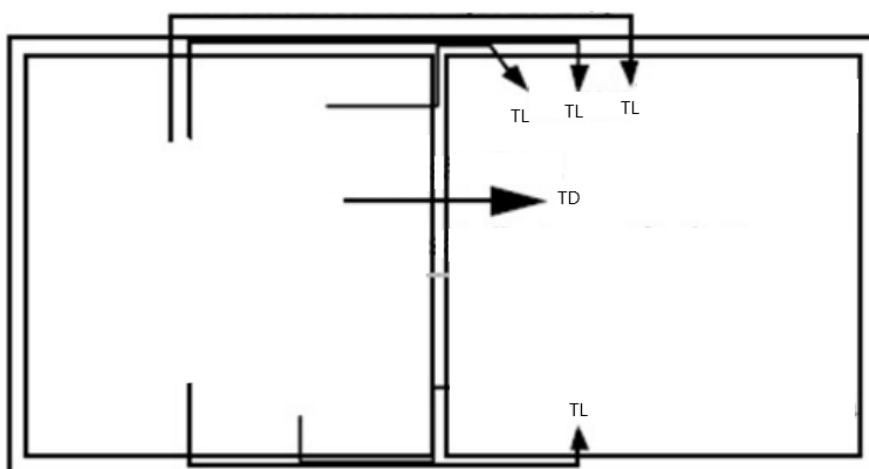


Figura 2.21 – Transmissões por via direta (TD) e por via marginal (TL) (adaptado de [54])

## 2.5.7. PARÂMETROS DE MEDIDA DA INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA

### 2.5.7.1 NÍVEL DE INTERFERÊNCIA NA CONVERSAÇÃO (SIL)

O conceito de SIL surgiu pela primeira vez em estudos sobre a eficiência das conversas em aviões durante o voo. Beranek demonstrou que o número de palavras ouvidas corretamente entre transmissor e recetor estava diretamente relacionado com a média do ruído em decibéis de três bandas de frequência de oitava 600-1200 Hz, 1200-2400 Hz, 2400-4800 Hz. É definido como a media aritmética dos níveis de pressão sonora dos ruídos de fundo em cada uma das bandas de oitava dos 500 aos 2.000 Hz (expressão 2.19).

$$SIL (dB) = \frac{RF_{500Hz} + RF_{1000Hz} + rf_{2000Hz}}{3} \quad (2.19)$$

### 2.5.7.2 ÍNDICE DE ARTICULAÇÃO (AI)

O índice de articulação é um parâmetro de medida objetiva da inteligibilidade da palavra que foi criado com o objetivo de indicar o quanto o ruído de fundo consegue afetar o discurso humano [1].

O seu valor varia entre 0% (nenhuma palavra percebida) e 100% (todo o discurso foi entendido) e pode ser classificado de forma subjetiva quanto ao seu grau de privacidade e o seu grau de inteligibilidade (quadro 2.6).

O Índice de Articulação foi inicialmente utilizado para fins que incluíam medir a eficácia do sistema de comunicação e a privacidade da voz. Atualmente, o Índice de Articulação é também utilizado para avaliar outras coisas, tais como o silêncio dos eletrodomésticos e o nível de ruído dentro dos automóveis [22].

Quadro 2.6 – Percepção subjetiva para a privacidade e inteligibilidade da palavra em função dos valores de AI [1]

AI (Índice de articulação)	Grau de Privacidade	Grau de inteligibilidade
< 0,05	Confidencial	Nula
[0,05 – 0,20[	Normal privacidade	Muito fraca
[0,20 – 0,35[	Marginal	Fraca
[0,35 – 0,40[	Pobre	Sofrível
[0,40 – 0,65[	Em geral, sem privacidade	Boa
≥ 0,65	Privacidade totalmente inexistente	Excelente comunicação

2.5.7.3 *SPEECH TRANSMISSION INDEX (STI) E RAPID SPEECH TRANSMISSION INDEX (RASTI)*

A medição da inteligibilidade da palavra através do RASTI é o processo mais rápido e fácil para medir o STI. Muitas vezes é o caso em que a palavra transmitida por uma fonte sonora, não chega aos recetores da mesma forma, como já foi referido anteriormente, isto deve-se aos fenómenos de reflexão devido a reverberação e ao ruído de fundo existente, a consequência disto é a redução da inteligibilidade da palavra. [25]

Este método compreende a análise de um sinal modulado, que produz uma excitação semelhante à provocada pelo discurso humano, por parte de um recetor que mede a redução na modulação do sinal e a relaciona com a perda de inteligibilidade. [25]

Os resultados obtidos neste método são expressos numa escala de 0 a 1, onde o seu valor mínimo aceitável é de 0,50. Com estes resultados pode ser feita uma correspondência a inteligibilidade da palavra. (quadro 2.7) [25].

Quadro 2.7 – Relação entre o parâmetro RASTI e a inteligibilidade da palavra [25]

RASTI	Inteligibilidade da palavra
[0 – 0,30[	Má
[0,30 – 0,45[	Medíocre
[0,45 – 0,60[	Suficiente
[0,60 – 0,75[	Bom
[0,75 – 1,00[	Excelente

#### 2.5.7.4 ARTICULATION CLASS (AC)

A semelhança do AI, o AC também usa um sistema de classificação de um único número para avaliar a forma como materiais acústicos funcionam na atenuação do ruído, ruídos estes podiam levar a distrações em espaços adjacentes aquele estudado. Avalia quão eficazmente as paredes, tetos e moveis atenuam o ruído. Sendo esta análise efetuada por terços de banda de oitava, dos 200 até aos 5.000 Hz [24].

#### 2.5.8 CURVAS DE INCOMODIDADE (NC/NR)

O nível de pressão sonora do ruído de fundo em estúdios de gravação, auditórios e salas de concerto deve ser mantido sob controlo para que estas salas possam ser aproveitadas ao máximo e da maneira prevista quando são dimensionadas. No entanto para que isso aconteça são necessárias formas para avaliar este fator daí surgiram as curvas de incomodidade primeiro o *noise criterion* (NC) criada em 1957 por Beranék que tinha em conta a distribuição de energia sonora em várias bandas de frequência. Mais tarde acabou por surgir o *noise rating* (NR), desenvolvido pela *International Organization for Standardization* (ISO), que consistem em curvas de avaliação de ruído para determinar o ambiente interior aceitável para preservar a audição, facilitar o discurso e a comunicação e para reduzir o incómodo.

A determinação da curva NC e NR é idêntica. Para um dado espectro sonoro, passa por sobrepor os valores do ruído de fundo obtidos num gráfico que contém as curvas NC (ou NR, dependendo do parâmetro que se esteja a calcular), e observar qual o ponto da linha de valores medidos que coincide com o maior valor NC, sendo esse o valor dado ao parâmetro. [26]

As figuras 2.22 e 2.23 mostram as curvas do *Noise Rating* e do *Noise Criterion*, respetivamente.

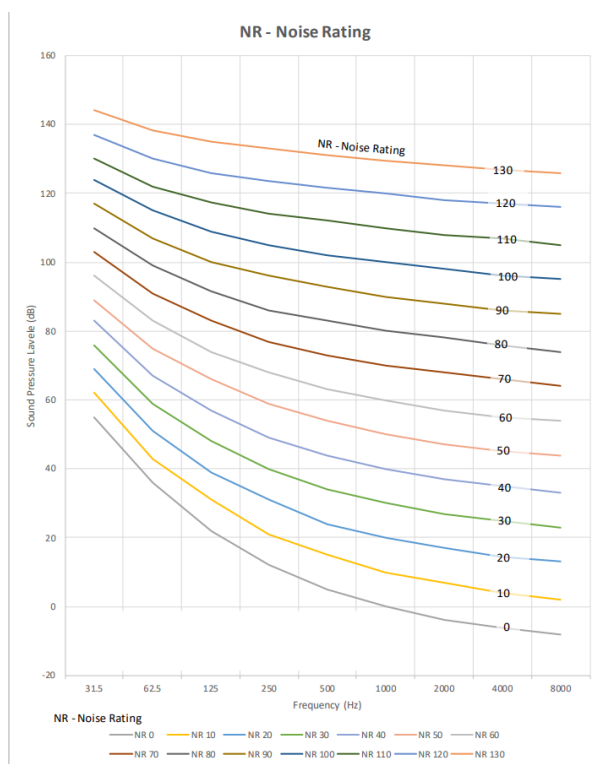


Figura 2.22 – Curvas do *Noise Rating* [27]

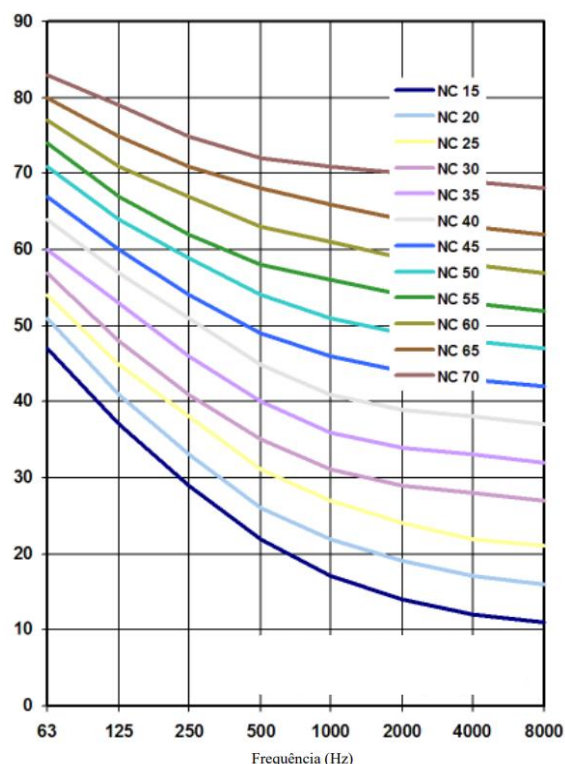


Figura 2.23 – Curvas do *Noise Criterion* [27]



Por fim nos quadros 2.8 e 2.9 pode-se observar os valores máximos recomendados para cada um destes parâmetros.

Quadro 2.8 – Valores limites máximos de NC para algumas situações [1]

Tipo de recinto	Valor limite máximo de Noise Criterion
Salas de concerto, casas de ópera, estúdios de gravação, grandes auditórios, grandes igrejas	< NC-20
Pequenos auditórios, teatros, salas de música, grandes salas de reuniões, salas de teleconferência, salas audiovisuais, grandes salas de conferências, pequenas igrejas, tribunais, capelas.	NC-20 até NC-30
Quartos, hospitais, residências, apartamentos, hotéis, motéis	NC-25 até NC-35
Escritórios privados ou semiprivados, pequenas salas de conferência, salas de aula, livrarias	NC-30 até NC-35
Grandes escritórios, recepções, lojas, cafés, restaurantes, ginásios	NC-35 até NC-40
Lobbies, laboratórios, salas de engenharia, áreas de secretaria, lojas de manutenção	NC-40 até NC-45
Cozinhas, lavandarias, lojas industriais, salas de computador	NC-45 até NC-55

Quadro 2.9 – Valores limites máximos de NR para algumas situações [38]

Tipo de recinto	Valor limite máximo do Noise Rating
Grandes salas de concerto	NR-15
Casas de Ópera e teatros de drama	NR-20
Auditórios Pequenos (menos de 500 lugares)	NR-25

## 2.6 ACÚSTICA ARQUITETÓNICA

### 2.6.1 INTRODUÇÃO

A acústica arquitetónica no século XX foi reconhecida não só como uma ciência, mas também quase como uma arte e apesar do número e da qualidade dos artigos publicados sobre este assunto ter aumentado, ainda hoje a compreensão de muitos dos princípios de design acústico não está diretamente correlacionado com o aumento da qualidade acústica em salas de espetáculo [36].

Nesta dissertação entende-se como acústica arquitetónica o uso de conceitos e técnicas acústicas em enormes espaços de intervenção arquitetónica tais como salas para grandes audiências (salas de teatro, cinema, concertos, igrejas, etc.) [1].

Um dos grandes problemas com os quais a acústica tem de lidar é a necessidade de coexistir com a arquitetura e que apesar de uma sala esteticamente apelativa ser mais agradável para o utilizador do espaço o mesmo só se desloca a este espaço para assistir a um espetáculo para o qual é necessário cumprir as exigências acústicas necessárias [1].

## 2.6.2 CONCEITOS

### 2.6.2.1 REFLEXÕES

#### A) DEFINIÇÃO

A envolvente de uma sala é o fator de maior interesse para a acústica arquitetónica e a sua forma e materiais são elementos preponderantes na qualidade acústica da mesma. Nas grandes salas de espetáculo um ouvinte recebe cerca de 8.000 reflexões por segundo. A primeira onda a atingir o ouvinte é aquela a que se chama som direto sendo seguida por aquelas que são refletidas na sala. As reflexões que chegam no intervalo de 80ms após a chegada do som direto chama-se som inicial (*early sound*) todas as restantes reflexões que chegam após esse intervalo é o som tardio (*late sound*) [1].

#### B) ECOS

Os ecos (figura 2.24) são aquilo a que se chama as más reflexões, ou seja, reflexões que chegam suficientemente fortes ao ouvido humano e que chegam após 50ms que é o tempo necessário para o ouvido humano distinguir as mesmas do som inicial [1].

Um tipo de ecos mais raros é o chamado eco repetido (*flutter echo*) que normalmente percorre pequenas distâncias, mas em múltiplas iterações sendo um exemplo comum de eco repetido aquele que ocorre quando a emissão sonora é dada entre duas paredes paralelas pouco distantes uma da outra o que provoca consecuentes reflexões do som como podemos ver no esquema da figura 2.25 [38].

Um dos exemplos em Portugal deste fenómeno é o da sala *Suggia* na Casa da Música como se pode ver na figura 2.26 uma possível solução para o *flutter echo* é a reorientação de uma das superfícies paralelas em cerca de 5° [38].

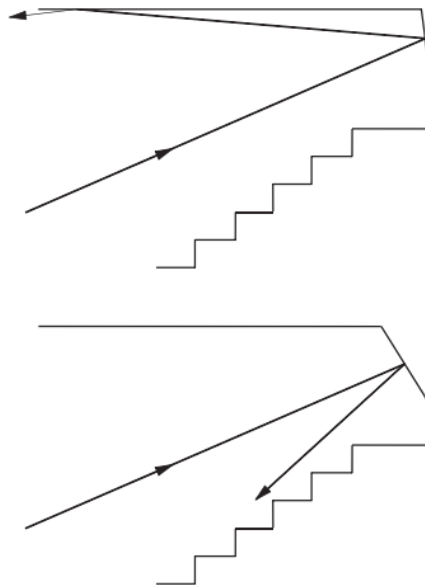


Figura 2.24 – Exemplo de duas situações com eco uma delas inofensiva (cima) e a outra onde há reflexões para a audiência próxima (baixo) [38]

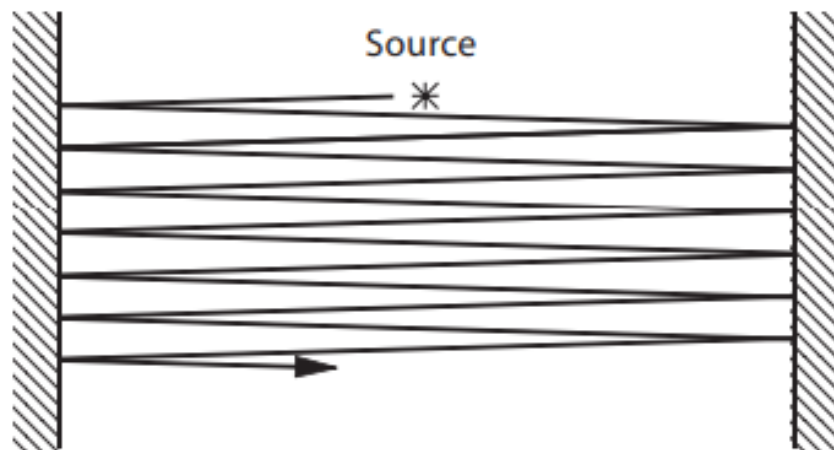


Figura 2.25 – *Flutter echo* entre paredes paralelas [38]

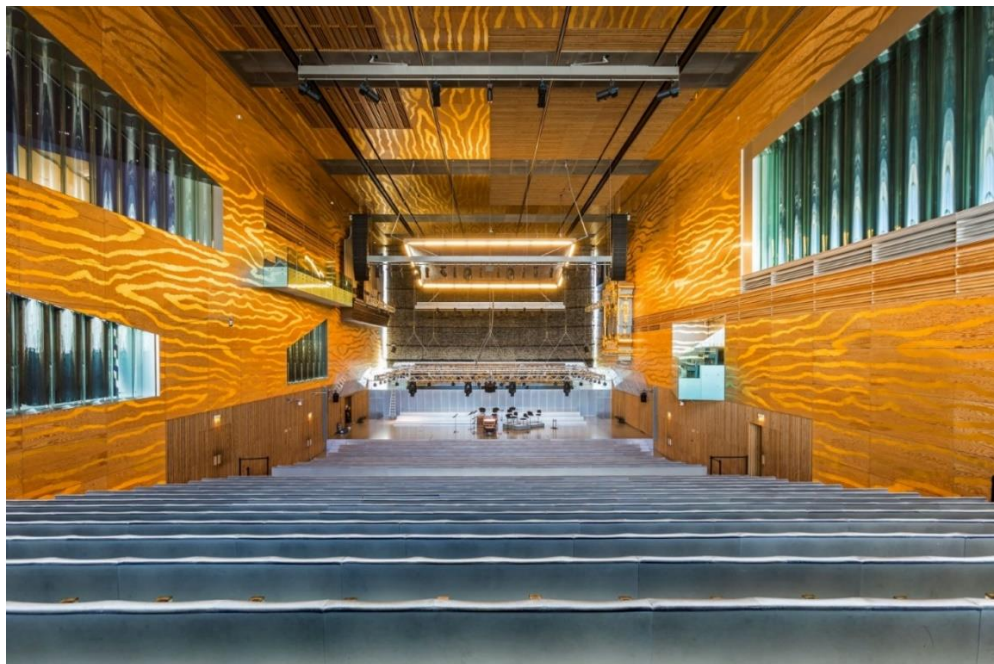


Figura 2.26 – Sala *Suggia* na casa da música [51]

### C) DISCOS VOADORES

Os discos voadores são utilizados em salas de espetáculo com o pé direito muito elevado de forma a evitar que o som direto chegado do palco atinga o teto. Aos refletores suspensos no teto é dado o nome de discos voadores [1].

Um dos principais exemplos da utilização de discos voadores é o Royal Albert Hall em Londres (figura 2.27).

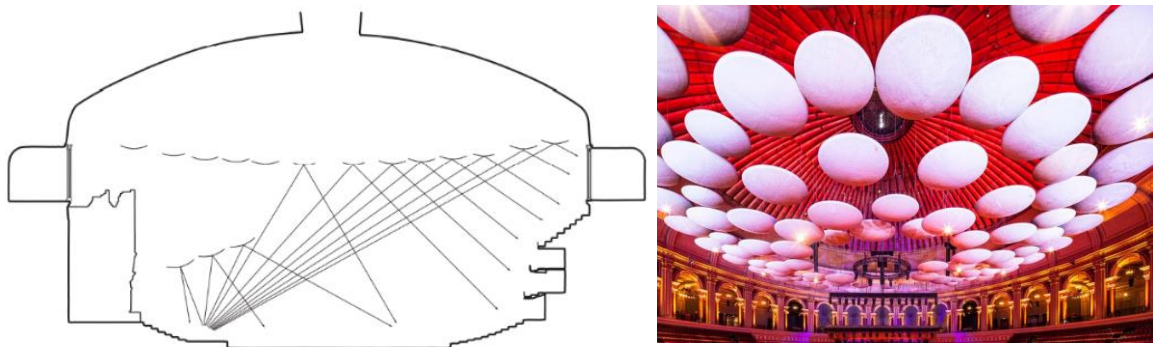


Figura 2.27 – Seção longitudinal do *Royal Albert Hall* (esquerda) e exemplo dos discos voadores (direita). [38] [53]

### 2.6.2.2 ACÚSTICA VARIÁVEL

#### A) VARIAÇÃO NA ABSORÇÃO SONORA

A variação na absorção sonora pode ser obtida através de dispositivos manuais ou mecânicos, que podem fazer alterar as características acústicas de uma sala podendo estes dispositivos corresponder a novas zonas de reflexão ou de absorção dependendo das necessidades do espetáculo que irá acontecer na sala.

Um exemplo de variação na absorção é o da *Hong Kong Academy for Performing Arts* onde existem três tipos de arranjos para as abas que permitem obter resultados completamente diferentes como se pode observar na figura 2.28.

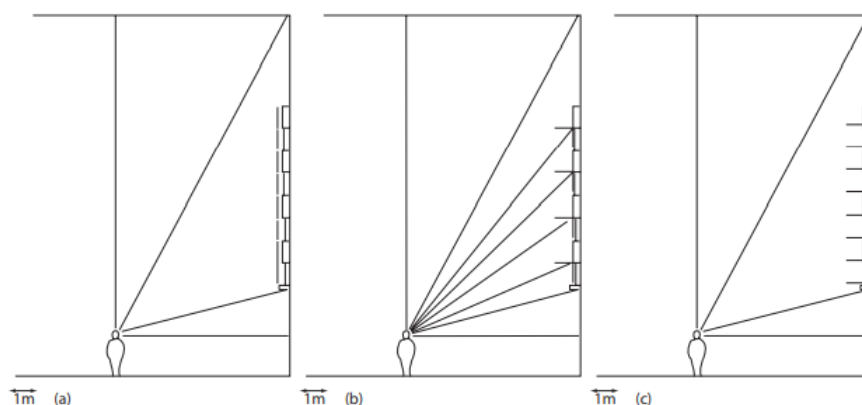


Figura 2.28 – Variação na absorção sonora na *Hong Kong Academy for Performing Arts*. Os três arranjos das abas permitem três graus de absorção diferentes [38]:

- (a) Abas completamente fechadas, poucas reflexões iniciais e um grande tempo de reverberação
- (b) Abas meio abertas, algumas reflexões iniciais e um tempo de reverberação médio
- (c) Abas completamente abertas, poucas reflexões iniciais e um tempo de reverberação baixo

## B) VARIAÇÃO NO VOLUME

Uma forma de fazer variar o tempo de reverberação numa sala de espetáculo pode ser através da variação do volume da mesma.

Em Portugal existe apenas um exemplo de uma sala capaz de fazer variar o seu volume e esta existe no Teatro Municipal de Bragança como se pode ver na figura 2.29 esta variação do volume é feita através da movimentação dos caixotões de madeira mais para fora ou para dentro, dependendo do tipo de espetáculo.



Figura 2.29 – Auditório do Teatro Municipal de Bragança. [52]

## 2.6.3 PARÂMETROS ACÚSTICOS

### 2.6.3.1 ENQUADRAMENTO

A capacidade acústica de uma sala pode ser quantificada através de parâmetros acústicos objetivos ou subjetivos [1].

Os parâmetros acústicos objetivos referem-se a valores obtidos por equipamentos através de relações energéticas ou temporais do sinal recolhido [1].

Os parâmetros acústicos subjetivos referem-se a valores obtidos através de análises subjetivas dependentes dos auditores [1].

### 2.6.3.2 PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJETIVOS

Os descritores objetivos mais importantes atualmente utilizados para grandes salas de espetáculo e mais aplicáveis de forma a fornecerem a melhor descrição potencial das funções da palavra e da música são:

#### A) Tempo de Reverberação (TR)

Como já foi referido anteriormente o tempo de reverberação corresponde ao tempo que o som demora a decair 60 dB desde que a fonte sonora é desligada. Este é normalmente medido pela obtenção do decaimento do sinal de 20 ou 30 dB sendo este valor posteriormente extrapolado para os 60 dB nas expressões 2.20 e 2.21 é calculado o decaimento em 20 e 30 dB [1].

$$TR_{20} = 3[DS^{-1}(25) - DS^{-1}(5)] \quad (2.20)$$

$$TR_{30} = 2[DS^{-1}(35) - DS^{-1}(5)] \quad (2.21)$$

onde,

- $DS(T)$  – Decaimento sonoro em função do tempo;
- $DS^{-1}(T)$  – Função inversa de  $DS(T)$ .

#### B) TEMPO DE DECAIMENTO CURTO (EDT). *EARLY DECAY TIME*

É uma adaptação do tempo de reverberação só que neste caso é medido o decaimento do sinal em 10 dB e é dado pela expressão 2.22 [1].

$$EDT = 6[DS^{-1}(10) - DS^{-1}(0)] \quad (2.22)$$

#### C) CLARIDADE ( $C_{80}$ )

A Claridade é dada pela razão entre a energia recebida nos primeiros 80 ms do sinal recebido e a energia recebida posteriormente. Os 80ms correspondem ao limite de percetibilidade para a música e é dada pela expressão 2.23 [1].

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80} p^2(t) dt}{\int_{80}^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.23)$$

#### D) DEFINIÇÃO ( $D_{50}$ )

A Definição corresponde a razão entre a energia recebida nos primeiros 50 ms e a energia total recebida. Os 50 ms correspondem ao limite de percetibilidade da palavra e é dada pela expressão 2.24 [1].

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.24)$$

#### E) TEMPO CENTRAL (TS)

O tempo central corresponde ao ponto no tempo, em ms, onde a energia recebida antes deste ponto é igual a energia recebida depois daquele ponto. O tempo central é dado pela expressão 2.25 [1].

$$TS = \frac{\int_0^{\infty} t * p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.25)$$



## F) INTENSIDADE SONORA (I)

A intensidade sonora é dada pela razão, em dB, entre a energia total recebida numa posição específica do recinto fechado e a energia recebida para o som direto isolado se medido a uma distância de 10m a partir da origem num ambiente anecoico. A intensidade sonora é dada pela expressão 2.26 [1].

$$I = 10 \log \frac{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_{10m}^2(t) dt} \quad (2.26)$$

## G) RÁCIOS DE BAIXOS

Os raios de baixos são geralmente utilizados para avaliar o balanço tonal por comparação dos tempos de reverberação e da intensidade sonora para as baixas frequências com os valores das altas frequências. O rácio de baixos com base no tempo de reverberação e com base na intensidade sonora são respetivamente dados pelas expressões 2.27 e 2.28 [1].

$$BR_{RT} = \frac{[TR(125) + TR(250)]}{[TR(500) + TR(1000)]} \quad (2.27)$$

$$BR_L = \frac{[L(125) + L(250) - L(500) - L(1000)]}{2} \quad (2.28)$$

Em 1994, Carvalho propôs um conjunto de equações as quais melhor relacionavam os diferentes parâmetros acústicos objetivos sendo que essas equações podem ser consultadas no quadro 2.10 e onde  $R^2$  corresponde a qualidade da relação entre os parâmetros, ou seja, quanto mais próximo de 1 melhor a relação entre os parâmetros [1].

Quadro 2.10 – Melhores relações entre parâmetros acústicos objetivos [1]

Equação	$R^2$	Equação	$R^2$
$EDT = 0,043 + 0,941 TR$	0,98	$C_{80} = 30,94 - 6,422 \ln (TS)$	0,86
$EDT = 0,219 + 0,013 TS$	0,88	$D_{50} = 0,347 + 0,048 C_{80} + 0,0016 (C_{80})^2$	0,88
$C_{80} = 2,88 - 5,572 \ln (TR)$	0,56	$D_{50} = 1,562 - 0,25 \ln (TS)$	0,71
$C_{80} = 2,78 - 5,735 \ln (EDT)$	0,61	$TS = 17,82 + 64,203 TR$	0,83

## 2.6.3.3 PARÂMETROS ACÚSTICOS SUBJETIVOS

Os descritores subjetivos mais importantes atualmente utilizados para grandes salas de espetáculo e mais aplicáveis de forma a fornecerem a melhor descrição potencial das funções da palavra e da música são [1]:

## A) RUÍDO DE FUNDO

Os sons ouvidos no local que não são provenientes da fonte sonora, ou seja, todo o tipo de ruídos que perturbem a capacidade de audição e comunicação tais como ruídos de tráfego, sistemas de ventilação e etc. São considerados ruído de fundo [1].

## B) INTENSIDADE DO SOM

Corresponde ao volume do som sentido pelos espetadores dentro da sala de espetáculos. De certa forma a intensidade do som é representada pela junção das intensidades do som direto e do som reverberante [1].

C) CLAREZA DO DISCURSO MUSICAL

Corresponde a qualidade com a qual as notas musicais são separadas no tempo e a distinção feita quando ouvidas. Mede a qualidade de definição com que os sons são percebidos. Este parâmetro é diretamente influenciado pelo tipo de superfícies refletoras e pelo seu posicionamento no interior da sala [1].

D) REVERBERÂNCIA

Corresponde ao tempo que um determinado som demora a cessar a partir do momento que a sua transmissão pela fonte sonora é terminada [1].

E) Eco

Como já foi referido anteriormente o eco corresponde as más reflexões que chegam atrasadas e são audíveis pelo recetor [1].

F) INTIMIDADE

Pode ser descrita como a sensação auditiva de proximidade da fonte sonora ainda que o recetor esteja distante da fonte sonora, corresponde a sensação de assistir a um espetáculo numa sala pequena ainda que está não o seja.

G) DIRECCIONALIDADE

É quando é dada a sensação de que o som vem diretamente da fonte sonora que está a ser visualizada pelo recetor. Está pode ser comprometida quando devido a más reflexões existentes na sala passa a existir a sensação de que o som é proveniente de outro ponto que não aquele onde se encontra a fonte sonora.

H) ENVOLVIMENTO

Como a própria palavra diz é a sensação de estar rodeado pelo som. Uma sala considerada envolvente é aquela onde o som chega com a mesma energia de todas as direções ao ouvinte. Este efeito é causado pela maneira como o som reverberante se distribui pela sala.

I) Equilíbrio Tímbrico

Corresponde a simetria entre os níveis sonoros das altas e baixas frequências. Quando existe equilíbrio tímbrico o auditor sente que recebe todos os tipos de frequência de forma igual.

J) IMPRESSÃO GERAL

Corresponde a qualidade acústica geral que o auditor sente na sala.



# 3

## ESTADO DA ARTE

### 3.1. O QUE É UM CINETEATRO

Os cineteatros podem ser considerados como uma consequência do modernizar dos anos 20 e 30, pois surgiram devido à evolução industrial do século XX [28].

Um cineteatro é um edifício onde podem existir uma ou mais salas que tem como objetivo servir dois fins: uma sala de teatro e uma sala de cinema [29].

No entanto, construção destes equipamentos foi vítima de alguns impedimentos pois não era fácil conjugar dois usos (cinema e teatro) dentro de uma mesma sala de espetáculo. Assim, construía-se uma sala com ecrã de cinema, com palco, boca de cena, caixa de palco, pano, fosso de orquestra e camarins [30].

### 3.2 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO DOS CINETEATROS EM PORTUGAL

#### 3.2.1 O TEATRO O CINEMA E OS CINETEATROS EM PORTUGAL

O teatro foi a forma mais popular de lazer durante o século XIX e, como resultado, após a construção do Teatro D. Maria II em Lisboa (1846), começaram a aparecer edifícios para esta utilização em todo o país [28].

No entanto, os irmãos *Lumière* (figura 3.1) inventaram a primeira câmara de filmar em 1895, criando um tipo de entretenimento e, deste modo, ganharam a reputação de grandes inventores da 7ª Arte apesar de atualmente ser reconhecido que *Léon Bouly* (figura 3.2) foi o verdadeiro criador do cinematógrafo (figura 3.3) [31].



Figura 3.1 – *Auguste Lumière* (esquerda) e *Louis Lumière* (direita). [31]



Figura 3.2 – Cinematógrafo-*Lumière*. [32]



Figura 3.3 – *Léon Bouly* [31]

Isto levou a que, nos meados dos anos vinte do século XX, o cinema se tornasse a forma de lazer mais desejada pelo público em geral [28].

Com o crescer da popularidade desta nova forma de entretenimento, os pedidos para a construção de espaços destinados a salas de cinema aumentaram e assim nasceu o cinema Ideal, construído na Rua do Loreto em Lisboa (figura 3.4), tornando-se assim a primeira sala com instalação de projeções cinematográficas [28].

Após o aparecimento do som no cinema, passaram a ser necessários espaços capazes de arcar com as novas exigências técnicas que começavam a surgir e a estabelecer novas regras e normas [28].

Com estas novas exigências e com a obrigatoriedade de diversos novos parâmetros para se obter uma licença, era impossível fazer a adaptação de teatros porque, para além de dispendiosa, estes não estavam preparados para receber um fluxo tão grande de pessoas.

Assim surgiram os cineteatros. Vários destes foram construídos durante esta época um pouco por todo o território português, começando pelas grandes cidades, mas rapidamente pelo resto do país.

A importância da localidade, a sua população, o número de visitantes, a frequência e o número de espetáculos programados, tudo isto afetou a difusão destas instalações culturais.

Esta nova tipologia, apesar de apresentar uma grande diversidade e capacidade de adaptabilidade aos diferentes espetáculos, também apresentava alguns defeitos como a sua construção e o custo da sua manutenção [28].



Figura 3.4 – Cinema Ideal em Lisboa. [32]

### 3.2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO POLÍTICA

É importante salientar que foi durante o regime autoritário que surgiu a ideia de cineteatro em Portugal como uma forma de “proteger” o teatro por causa do rápido crescimento, em popularidade, do cinema. Foi implementada uma medida onde só podiam ser construídas salas para cinemas se estas também acomodassem o teatro.

É no século XX que acontece o 25 de abril de 1974 onde o regime autoritário instalado no país tem o seu fim.

Após a formação do governo provisório foram tomadas diversas iniciativas no âmbito da cultura sendo que todas elas se mostraram um fracasso [29].

Em 1976, a nova Constituição da República Portuguesa introduz mudanças na forma como o estado se relacionava com a cultura, sendo nesta que o Estado não só assume o papel de dar igual acesso a cultura a todos os cidadãos como dá o direito a liberdade artística [29].

Em 1985, após um período de dez anos de governos em constante mudança, inicia-se com o então primeiro-ministro Cavaco Silva um período de maior estabilidade política sendo durante os três governos de Cavaco Silva que foram tomadas medidas e investimentos realizados na cultura.

No ano de 1986, Portugal dá entrada na Comunidade Económica Europeia (CEE). Neste mesmo ano, o então primeiro-ministro, assina o Decreto-Lei n.º 258/86, de 28 de agosto com o objetivo de potenciar o investimento privado na cultura e estas medidas juntamente com o crescimento do orçamento na cultura graças a entrada na CEE, levaram a um crescimento do setor [29].

### 3.2.3 A DESCENTRALIZAÇÃO NA CULTURA E AS PRIMEIRAS REDES DE EQUIPAMENTOS CULTURAIIS

É com Cavaco Silva que em 1987 surge a primeira iniciativa de descentralização, o lançamento da Rede Nacional de Bibliotecas Públicas. Nesta altura também começa a surgir o programa de Redes de Recintos Culturais que levou a intervenções em diversos equipamentos, representado na altura um investimento de 1.200 milhões de escudos. Esta iniciativa precedeu o programa da Rede Nacional de Teatros e Cineteatros [29].

### 3.2.4 REDE NACIONAL DE TEATROS E CINETEATROS PORTUGUESES.

Ao longo da década de 2000 surgiu um investimento significativo por parte das autarquias e do Estado, com recurso a fundos comunitários, de forma a concretizar a Rede Nacional de Teatros e Cineteatros (RNTEC) que consistia na construção e recuperação destas infraestruturas [29].

A gestão desta infraestrutura era assumida pelas autarquias e por estas passavam as responsabilidades de fazer a manutenção dos espaços e da programação artística dos mesmos.

No entanto, passados alguns anos da construção e requalificação destes equipamentos, alguns deles já estão fechados e a maioria tem uma programação irregular. Isto foi causado pelas dificuldades financeiras aquando do término dos programas de financiamento europeus e, mais tarde, agravado pelo corte no investimento provocado pela crise económica e financeira atravessada pelo país.

Atualmente, esse programa foi substituído pela Rede de Teatros e Cineteatros Portugueses (RTCP) que consiste na descentralização e na responsabilidade partilhada do Estado com os municípios e entidades independentes. É um instrumento estratégico crucial para abordar as desigualdades regionais e promover a coesão territorial no acesso à cultura e às artes em Portugal [34].

O primeiro passo para institucionalização da RTCP foi dado através da portaria n.º 106/2021 que estabelece os requisitos para a credenciação dos equipamentos com a finalidade de integrarem a RTCP [34].

No quadro 3.1 podem-se ver todos os cineteatros que cumprem esses requisitos e foram aceites para além se os mesmos continuam ativos e se têm programação regular.

Quadro 3.1- Cineteatros credenciados na Rede de Teatros e Cineteatros Portugueses que continuam ativos e se a sua programação é regular [35].

Nome do Equipamento	Concelho	Em atividade?	Programação regular?
Cine Teatro São João	Palmela	Sim	Não
Cine Teatro Sousa Telles	Ourique	Sim	Não
Cine-Teatro de Estarreja	Estarreja	Sim	Sim
Cine-Teatro Garrett	Póvoa de Varzim	Sim	Não
Cinema Teatro Joaquim de Almeida	Montijo	Sim	Não
Cineteatro Alba	Albergaria-a-Velha	Sim	Esporádica
Cineteatro António Lamoso	Santa Maria da Feira	Sim	Sim
Cineteatro Curvo Semedo	Montemor-o-Novo	Sim	Esporádica
Cineteatro João Mota	Sesimbra	Sim	Não
Cineteatro João Verde	Monção	Sim	Esporádica
Cineteatro Louletano	Loulé	Sim	Não
Cineteatro Paraíso	Tomar	Sim	Não
Cineteatro São Pedro	Alcanena	Sim	Não

Em conclusão é importante entender que todos estes equipamentos foram reabilitados e é necessário dar o devido uso e valor aos mesmos começando por criar programações regulares e promover a divulgação destes espaços de cultura para que se possa tirar o melhor proveito dos mesmos.

### 3.3 EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS

#### 3.3.1 REGRAS GERAIS

W. C. Sabine, um jovem professor de física na Faculdade de Harvard, iniciou o desenvolvimento teórico da acústica na construção no final do século XIX. O trabalho de Sabine começou quando o Presidente Eliot lhe pediu para "fazer algo" sobre as questões acústicas no Museu de Arte Fogg, que tinha acabado de ser terminado em 1895 [36].

W. C. Sabine não só desenvolveu a primeira teoria da absorção sonora dos materiais, como realizou medições rigorosas, apesar de estas não serem padronizadas, do tempo necessário para que diferentes frequências de sons se deteriorassem até à inaudibilidade, na presença dos diferentes materiais. Foi

também ele responsável pela criação de uma das fórmulas de previsão do tempo de reverberação sendo que até aos dias de hoje. Este é um dos parâmetros de maior importância para a acústica [36][2].

Foi Sabine que em diversos dos seus artigos, mais tarde reunidos num livro chamado “*Collected papers on acoustics*”, definiu a relação entre a acústica e a arquitetura, ou seja, a forma de tornar a palavra e a música mais perceptíveis sem abdicar da beleza arquitetónica do edifício. Também defendeu que para construir um edifício acusticamente mais capaz é na fase anterior a sua construção e não com medidas de melhoramento após a construção do mesmo [37].

Sabine também definiu que para que a audição possa ser agradável em qualquer auditório, três são as condições necessárias:

- Os sons têm de ser suficientemente intensos;
- Os componentes simultâneos de um som complexo têm de manter as suas intensidades relativas adequadas;
- Os sons sucessivos em rápida articulação, quer da palavra quer da música, sejam claros e distintos, livres uns dos outros e de ruídos de fundo [37].

### 3.3.2. AUDITÓRIOS PARA O TEATRO

Em pequenos teatros, a inteligibilidade da palavra não é um problema; independentemente da disposição do teatro, um tempo de reverberação apropriado é frequentemente o necessário para proporcionar circunstâncias satisfatórias. Períodos de reverberação mais curtos podem ser úteis em espaços maiores, e aonde a quantidade de reflexões primárias pode ser essencial [38].

A natureza da direccionalidade da emissão da voz humana, ou seja, o facto que emite maioritariamente para a frente do orador, mas com uma variabilidade direccional que varia com a frequência mostra também ser um fator que provoca grandes preocupações, o que faz com que diferentes tipos de teatro tenham diferentes limitações nas suas dimensões [1][38].

Existem diferentes formatos utilizados no projeto dos teatros (figura 3.5). Este é influenciado por dois aspetos, ambos com o objetivo de melhorar a experiência do público, os que servem esteticamente para tornar o espaço mais agradável e chamativo para o público e os que otimizam a experiência da peça para o público.

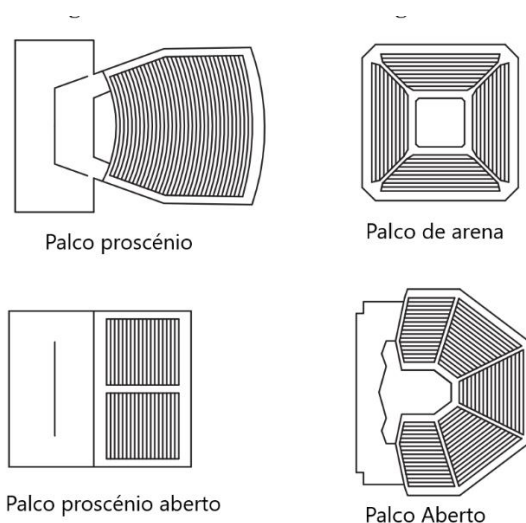


Figura 3.5 – Formas mais básicas usadas no projeto de teatros [36]

Atualmente ainda não há uma certeza sobre qual a forma mais apropriada para a sala, apesar de Marshall Long considerar que o palco proscênio é aquele que melhor serve as necessidades para esta arte. [36]

### 3.3.3. AUDITÓRIOS PARA A PALAVRA

Segundo Marshall Long existem seis condições fundamentais ao projetar auditórios cujo principal objetivo é a palavra. São elas:

- Tem de haver um nível de ruído adequado;
- O nível sonoro tem de ser relativamente uniforme;
- O tempo de reverberação da sala deve ser adequado;
- Deve haver uma elevada relação sinal/ruído;
- O ruído de fundo deve ser baixo o suficiente para não interferir com a percepção da palavra;
- A sala deve estar livre de defeitos acústicos [36][38].

#### A) NÍVEL DE RUIDO ADEQUADO

Para um ruído adequado numa sala, deve haver um alto nível de campo direto. Para obter esse resultado Sabine apresentou três possíveis melhorias:

- Colocar a fonte sonora acima da audiência;
- Subir a altura dos assentos consoante aumenta a distância a fonte sonora;
- Colocar uma parede atrás do orador [37].

A estas Marshall Long também propôs a criação de linhas de visão adequadas ao orador pois a partir destas resultam melhores condições para a percepção da palavra. Nas figuras 3.6 e 3.7 pode-se ver dois exemplos de como garantir essa melhor linha de visão [36].

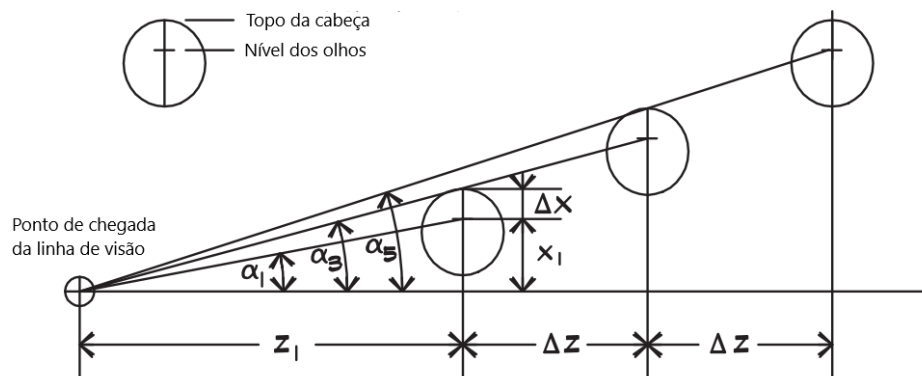


Figura 3.6 – Efeito provocado pela inclinação no ponto de chegada da linha de visão e conseqüente melhor percepção da palavra. [36]

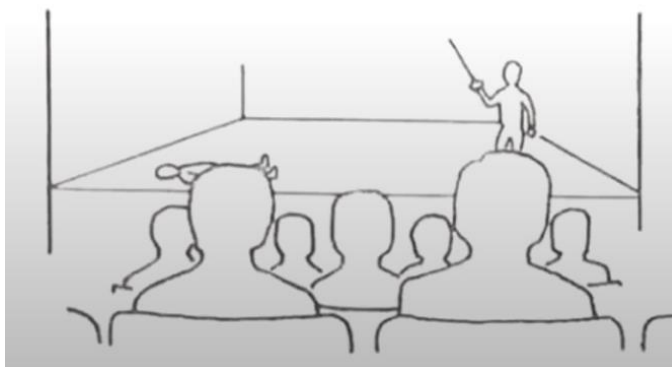


Figura 3.7 – Efeito provocado pelos assentos entre os patamares causando linhas de visão apropriadas [40].

### B) NÍVEL SONORO UNIFORME

O discurso, quando não é amplificado, o seu nível sonoro pode ser aumentado através da colocação de superfícies duras em posições onde possam distribuir o som para o público.

Estas placas devem ter um tamanho suficiente para refletir as frequências de interesse e precisam de estar próximas o suficiente para que a reflexão tenha um atraso inferior aos 30 milissegundos.

Na figura 3.8 pode-se observar um painel refletor e na expressão 3.1 como medir o atraso da reflexão em milissegundos.[36]

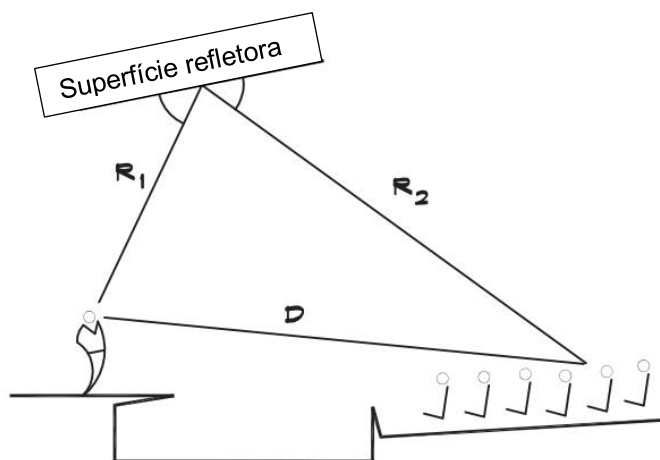


Figura 3.8 – Reflexão provocada por painéis no teto. [36]

$$Atraso = \frac{R_1 + R_2 - D}{0,34} \quad (3.1)$$

### C) TEMPO DE REVERBERAÇÃO ADEQUADO

A reverberação pode ser o tudo ou nada no desempenho acústico de um auditório. Em geral, a duração ótima da reverberação diminui com o aumento do conteúdo da palavra no som. É desejável que a duração seja igual ou inferior a um segundo em salas de aula e salas de conferência.

Segundo Carvalho [1] para auditórios onde o mais importante seja a palavra este valor deverá rondar o intervalo de [0,7;0,8] segundos.

#### D) ELEVADA RELAÇÃO SINAL/RUIDO

Os níveis de ruído de fundo de pequenos auditórios estão limitados a um máximo de NC 25 (35 dBA), enquanto os níveis de ruído de fundo de grandes auditórios estão limitados a um máximo de NC 25 e NR 20 (30 dBA), para assegurar que os membros da audiência não sejam prejudicados pelo ruído aí produzido. Uma sala maior tem mais perda de ruído, o que explica a disparidade. Em situações em que a relação sinal/ruído raramente é positiva, um nível de ruído mais elevado pode ser tolerado através do aumento do campo reverberante. Nessas situações, o ruído de um sinal reverberante de 6 dB pode ainda produzir inteligibilidade suficiente [36].

#### F) A SALA DEVE ESTAR LIVRE DE DEFEITOS ACÚSTICOS

A presença de defeitos acústicos pode contribuir para uma má inteligibilidade da palavra e para um desconforto geral nas salas ondem existem. Os principais defeitos são aqueles já referidos anteriormente um grande ruído de fundo, tempos de reverberação inadequados para o uso da sala, múltiplas reflexões ou reflexões demasiado demoradas entre outras [36].

#### 3.3.4 SALAS DE MÚSICA

As salas mais notáveis e fascinantes da acústica arquitetónica são as destinadas à música não amplificada. Aqui, os campos da ciência da acústica, arquitetura e música são combinados. A sala de concertos requer o controlo mais meticuloso do ponto de vista do design acústico, mas fornece ao acústico os recursos mais escassos para completar a tarefa. O design de uma sala de música requer a escultura de um campo sonoro, onde a peça a ser esculpida está em constante mudança, sem a capacidade de controlar as fontes originais, cujo tipo, posição, ruído, direção, e número podem mudar a cada atuação. Isto contrasta com a conceção do sistema de som, onde uma configuração de altifalantes pode produzir um resultado muito previsível [36].

Apesar do ambiente ideal para assistir a música ao vivo depender muitas vezes do estilo de música, há, no entanto, algumas condições que reúnem um consenso para todos os géneros de música são estas:

- O som deve abranger ou envolver a audiência. Isto exige reflexões laterais com uma porção considerável de energia a vir do lado, especialmente após os 80 ms da chegada do primeiro som;
- A sala deve apoiar o som instrumental, fornecendo um campo reverberante, cuja duração depende do tipo de música a ser tocada. O tempo de reverberação deve aumentar com a descida da frequência abaixo dos 500 Hz;
- Têm de existir clareza e definição nas rápidas transições musicais de forma que as mesmas possam ser apreciadas;
- O som deve ser suficientemente intenso e distribuído uniformemente por toda a sala. O volume e a definição diminuem quando há demasiados lugares (mais de 2600) e no caso dos pequenos auditórios o volume não deve ser opressivo;
- Deve ser suportada uma grande largura de banda, os instrumentos musicais geram sons cuja frequência pode variar de 30 a 12.000 Hz, o que é muito mais amplo do que o espectro da fala, a sala não deve quebrar o equilíbrio natural da frequência da música;



- O ruído provocado por fontes externas e/ou equipamento mecânico deve ser controlado para que o instrumento musical menos intenso possa ser ouvido. Os níveis do ruído de fundo não devem ultrapassar o NC 20 em pequenas salas e em grandes salas este valor não pode ultrapassar o NC15;
- As características específicas de reverberação da sala devem ser bem regularizadas com uma cauda reverberante suave e sem ecos ou outros defeitos;
- Os artistas no palco devem ser capazes de se ouvir uns aos outros de forma clara e receber do espaço uma reverberação próxima daquela experienciada pela audiência [36];

No que diz respeito à forma das salas, as mais comuns estão representadas na figura 3.9 nas suas diferentes configurações, normal e *surround*. Destas a forma que é mais utilizada é a retangular uma vez que esta forma oferece fortes reflexões laterais necessárias para o envolvimento da audiência, salas mais estreitas também oferecem tempos de atraso reduzidos para as primeiras reflexões do som [36].

Salas *surround* podem dar ao arquiteto mais liberdade para se exprimirem, mas em termos acústicos representam uma menor consistência acústica e comprometem o trabalho do engenheiro responsável pela acústica da sala sendo que muitas destas salas têm um aspeto maravilhoso, mas proporcionam uma péssima experiência acústica para a audiência.

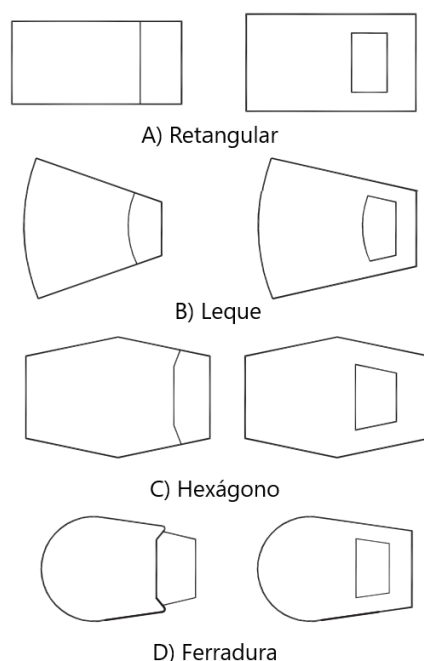


Figura 3.9 – Forma das salas de concerto, na sua configuração normal do lado esquerdo da imagem e *surround* do lado direito da imagem [36]

No quadro 3.2 podemos verificar os valores máximos e os valores ideais para alguns dos parâmetros segundo Carvalho [2] e Baron [38]:

Quadro 3.2- Valores máximos e valores ideais para alguns parâmetros relativos a estilos de música [2][38]

Uso	Capacidade máxima de lugares	Distância máxima da audiência ao palco	Tempo de reverberação ideal TR 500-1.000k Hz (s)	C <sub>80</sub> (dB)
<b>Música popular</b>	-	-	<1,0	>6
<b>Opera (Não wagneriana)</b>	2300	30	1,3-1,7	3 a 4
<b>Opera (Wagner)</b>	2300	30	1,8-1,9	1 a 2
<b>Música de orquestra</b>	3000	40	1,8-2,2	-2 a 2
<b>Música de camara</b>	1200	30	1,4-1,7	-1 a 1

### 3.3.5 SALAS MULTIUSOS

As propriedades acústicas que fazem de uma sala boa para a palavra são muitas vezes as mesmas que a fazem uma sala pobre para música e vice-versa [36].

Para que exista uma boa inteligibilidade do discurso, o volume das salas deve ser baixo e os tempos de reverberação devem ser muito pequenos. As primeiras reflexões devem vir do teto, os lugares devem ser alternados e inclinados para existir boas linhas de visão e para que exista um bom som direto [36].

Por outro lado, as salas para a audição de música não amplificada, precisam de tempos de reverberação maiores, um maior volume das salas, reflexões laterais ao contrário do teto, os lugares devem ter ângulos mais planos e uma maior difusão [36].

Todas estas condições, tão contraditórias, fazem de edifícios como auditórios, teatros, cineteatros e igrejas, dos mais difíceis de projetar e alguns dos maiores desafios arquitetónicos que podem ser propostos.

Apesar da existência de características tão únicas para cada tipo de sala, Long [36] propôs algumas diretrizes para aplicar a salas multiusos:

- A fonte deve estar acima do primeiro nível de pessoas sentadas na audiência para que as linhas de visão não estejam obstruídas;
- No design deve existir um sistema de som capaz de reproduzir em todas as frequências necessárias e a disposição dos altifalantes deve ser feita de forma que o orador seja perceptivelmente o ponto de origem;
- Quando existe música não amplificada, os músicos e os cantores devem ser ajudados por superfícies refletoras tanto no teto como nas laterais. Sendo que estas devem ser integradas no design da estrutura e preferencialmente sejam removíveis;
- O piso deve ser inclinado de forma a todas as filas terem linhas de visão até ao ponto de chegada da linha de visão, sendo que a inclinação do piso deve variar consoante a programação da sala em questão;
- O volume e a absorção da sala devem ser controlados para se conseguir um tempo de reverberação consistente com os usos, os assentos devem ser acolchoados para minimizar as diferenças entre as condições com a sala vazia e com a sala ocupada e por último a reverberação da sala deve ser controlada para limitar o ruído dos grandes grupos

- O nível do ruído de fundo deve ser limitado a NC 25 em pequenos auditórios (<500 lugares), para NC 20 em casas de ópera e teatros, por último em grandes salas de concertos deve ser limitado a NC 15.

### 3.4. LEGISLAÇÃO

No momento da realização desta dissertação, está em vigor o Decreto-Lei (DL) n.º 129/2002, de 11 de maio de 2002, o RRAE (Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios), que sofreu alterações primeiramente pelo DL n.º 96/2008, de 09 de junho, tendo passado a contemplar mais tipos de edifícios e mais recentemente pelo DL n.º 95/2019, de 18 de julho que juntou os edifícios habitacionais ou mistos as unidades hoteleiras. Este regulamento afeta novas construções, reconstruções, ampliações e alterações.

O artigo 1º, número 2 apresenta os diferentes tipos de edifício abrangidos pelo DL em função dos seus usos são estes:

- a) Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras;
- b) Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais;
- c) Edifícios escolares e similares, e de investigação;
- d) Edifícios hospitalares e similares;
- e) Recintos desportivos;
- f) Estações de transporte de passageiros;
- g) Auditórios e salas.

O RRAE define os parâmetros acústicos, os quais tem limites na legislação:

- Tempo de reverberação (TR);
- Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado com o exterior (para fachadas, empenas e coberturas) ( $D_{2m,nT,w}$ );
- Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ( $D_{nT,w}$ );
- Índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão padronizado ( $L'_{nT,w}$ );
- Nível de avaliação padronizado ( $L_{Ar,nT}$ ).

Por último o artigo número 10.º-A especifica algumas limitações nos edifícios que encaixam no tipo de “Auditórios e Salas de Espetáculo” sendo estas:

1- Os recintos cuja principal valência corresponda a atividades assentes na oratória, nomeadamente de auditórios, salas de conferência e salas polivalentes, e nas salas de cinema, estão sujeitos aos seguintes requisitos:

A) O tempo de reverberação médio, TR, nas bandas de oitava centradas nas frequências de 500, 1.000 e 2.000 Hz, a considerar para estes recintos, quando mobilados normalmente e sem ocupação, deve satisfazer as expressões 3.2, 3.3 e 3.4:

$$TR \leq 0,12V^{1/3}, \text{ se } V < 250m^3 \quad (3.2)$$

$$TR \leq 0,32 + 0,17 \log(V), \text{ se } 250 \leq V \leq 9.000m^3 \quad (3.3)$$

$$TR \leq 0,05V^{\frac{1}{3}}, \text{ se } V > 9.000m^3 \quad (3.4)$$

B) O projeto de condicionamento acústico destes espaços deve incluir um estudo específico destinado a assegurar uma característica de reverberação adequada no restante espectro de frequências e uma boa inteligibilidade da palavra nos diversos locais do recinto.

2- Nos auditórios e salas cuja principal valência não corresponda a atividades assentes na oratória, nomeadamente de auditórios para música ou salas de espetáculo, o projeto de condicionamento acústico destes espaços deve incluir um estudo específico destinado a assegurar a conformação acústica adequada à sua utilização funcional.

3- As fachadas dos recintos referidos nos números 1 e 2 devem assegurar que os valores do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado com o exterior,  $D_{2m,nT,w}$ , corrigido do termo de adaptação aplicável,  $C$  ou  $C_{tr}$  sejam os necessários para que o nível sonoro contínuo equivalente do ruído ambiente no interior do recinto, determinado a partir da média espacial de pontos representativos, na ausência de funcionamento das instalações técnicas do edifício,  $L_{Aeq}$ , satisfaça a expressão 3.5:

$$L_{Aeq} \leq 30 \text{ dB} \quad (3.5)$$

4- Nos complexos de várias salas de cinema, o isolamento sonoro a sons de condução aérea entre salas, expresso em termos do isolamento sonoro padronizado,  $D_{nT,w}$ , e o isolamento sonoro padronizado correspondente à banda de oitava centrada na frequência de 63 Hz,  $D_{nT,oit.63Hz}$ , deve satisfazer ambas as expressões 3.6 e 3.7:

$$D_{nT,w} \geq 65 \text{ dB} \quad (3.6)$$

$$D_{nT,oit.63Hz} \geq 45 \text{ dB} \quad (3.7)$$

5- No interior dos recintos, o nível sonoro contínuo equivalente do ruído particular,  $L_{Aeq}$ , associado ao funcionamento dos equipamentos e instalações técnicas, designadamente de instalações de aquecimento, ventilação e ar condicionado, deve, com a sala desocupada, satisfazer as expressões 3.8 e 3.9:

$$L_{Aeq} \leq 38 \text{ dB, no caso de cinemas} \quad (3.8)$$

$$L_{Aeq} \leq 30 \text{ dB, nos restantes recintos} \quad (3.9)$$

6- Os requisitos enunciados nos números 1 a 5 são aplicáveis aos recintos que constituem o uso principal do edifício em que se inserem e aos que se integram em edifícios com outros usos.

7- A determinação do tempo de reverberação, TR, deve ser efetuada em conformidade com o disposto na normalização portuguesa aplicável ou, caso não exista, na normalização europeia ou internacional.

8- Nas avaliações *in situ* destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos acústicos dos edifícios deve ser tido em conta um fator de incerteza, I, associado à determinação das grandezas em causa.

9- O edifício, ou qualquer das suas partes, é considerado conforme aos requisitos acústicos aplicáveis, quando, cumpre com todos os requisitos seguintes:

A) O valor obtido para o tempo de reverberação, T, diminuído do fator I no valor percentual do limite regulamentar, de acordo com o seguinte, satisfaça o limite regulamentar das expressões 3.10, 3.11 e 3.12:

$$25\% , se V < 250 m^3 \quad (3.10)$$

$$35\% , se 250 \leq V \leq 9.000 m^3 \quad (3.11)$$

$$40, se V \geq 9.000 m^3 \quad (3.12)$$

B) O valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado com o exterior,  $D_{2m,nT,w}$ , acrescido do fator I no valor de 3 dB, satisfaça o limite regulamentar.

C) O valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado,  $D_{nt,w}$ , acrescido do fator I no valor do 3 dB, e a diferença  $D_{nT,oit.63Hz}$  acrescida do fator I no valor de 5 dB, satisfaçam o limite regulamentar.

D) O valor obtido para o nível do ruído particular,  $L_{Aeq}$ , diminuído do fator I no valor de 3 dB, satisfaça o limite regulamentar.

É da maior importância ter conhecimento da legislação portuguesa pois é necessário que os parâmetros que serão medidos mais a frente cumpram com a mesma.



# 4

## MEDIÇÕES

### 4.1. CINETEATRO EDUARDO BRAZÃO

#### 4.1.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

O alvo prático desta dissertação é o Cineteatro Eduardo Brazão (CTEB). Este fica situado na rua professor Amadeu Santos 538 em Valadares Vila Nova de Gaia (figura 4.1).

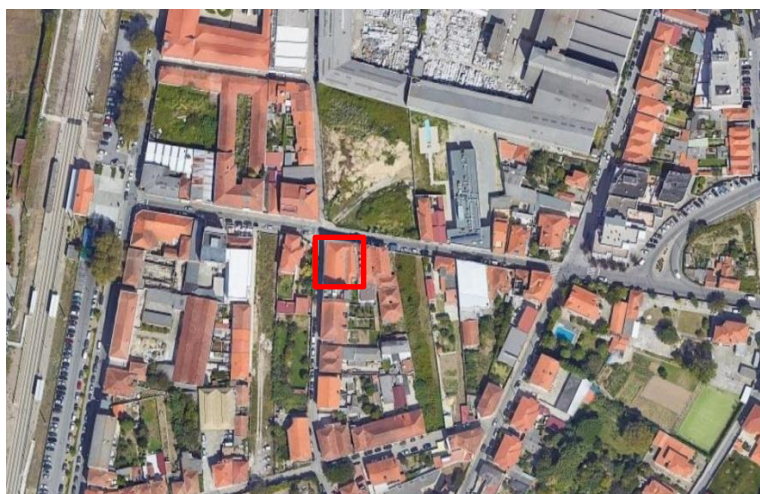


Figura 4.1 – Localização do Cineteatro Eduardo Brazão (edifício rodeado a vermelho) [44]

#### 4.1.2. APRESENTAÇÃO

O CTEB foi inaugurado a 12 de fevereiro de 1928 e foi um local relevante para a cultura e lazer de Valadares durante várias décadas [45].

O fundador deste estabelecimento foi Alexandre Marta da Cruz, um homem, oriundo de África, que chegou a Valadares em 1921 e desde então que foi uma pessoa fundamental para o desenvolvimento local [45].

Infelizmente, com o passar dos tempos deu-se a lenta deterioração do Cineteatro até que a Câmara Municipal de Gaia adquiriu o espaço em setembro de 1992 e exerceu o “direito de preferência” que foi o primeiro passo para a sua requalificação sendo esta entregue ao arquiteto Joaquim Massena, e ao

escultor José Rodrigues e ao pintor José Emídio. Desta forma, a 19 de maio de 2007 deu-se a inauguração do requalificado e ampliado CTEB [45].

A este cineteatro deu-se o nome de Eduardo Brazão em honra do ator Eduardo Joaquim de Brazão (figura 4.2), nascido a 6 de fevereiro de 1851 e falecido a 19 de maio de 1925, em Lisboa. O ator começou por frequentar a escola naval, mas, apercebendo-se que esta não sendo era a sua vocação e que a sua paixão pelo palco era maior acabou por desistir e estreou-se como ator no Teatro Baquet, no Porto. Percorreu a maioria dos teatros portugueses, sendo dotado na sua arte. Eduardo Brasão teve também a oportunidade de vestir a pele de várias figuras históricas sendo principalmente um ator de comédia [46].

Foi também um dos impulsionadores do cinema em Portugal, tendo feito parte de um dos primeiros filmes mudos portugueses: “Rainha depois de Morta Inês de castro” (1910), realizado por Carlos Santos [46].

Eduardo Brasão recebeu diversas homenagens das quais se destacam o grau de Cavaleiro de Sant'Iago e a Comenda de Cristo [46].



Figura 4.2 – Eduardo Joaquim Brazão [47]

#### 4.1.3 PROJETO DE ARQUITETURA

A tarefa de requalificar o CTEB ficou a cargo do arquiteto Joaquim Orlando Massena (figura 4.3). Nascido a 17 de junho de 1953 no Porto. É também mestre em restauro e reabilitação do património. Ao longo da sua vida fez também parte do setor público, onde esteve 12 anos, integrando os departamentos de urbanismo das câmaras municipais do Porto e de Vila Nova de Gaia.

Joaquim Massena inicia, em 1989, a sua atividade privada e em 1992 funda o atelier Joaquim Massena. É neste ano que também se torna professor convidado na Escola Superior Artística do Porto e no Instituto Superior Politécnico de Gaia e ganha o 1º prémio com distinção e unanimidade para o projeto de Reabilitação do Mercado do Bolhão.

Fazem também parte do seu currículo obras como o restauro das Igreja da Lapa, S. João Novo, S. José das Taipas e S. Nicolau (Porto).





Figura 4.3 – Joaquim Orlando Massena. [48]

#### 4.1.4 PROJETO DE ACÚSTICA

A empresa responsável pelo projeto acústico deste cineteatro foi a Inacoustics.

A InAcoustics é uma empresa multidisciplinar de projeto e consultoria em todas as áreas da acústica e vibrações oferecendo serviços de conceção, consultoria, testes, investigação e desenvolvimento técnico para os mercados da construção, das artes e meios de comunicação, negócios e tecnologia. [49]

A InAcoustics, criada em 2004 e sediada na Maia, no distrito do Porto em Portugal, alargou ao longo dos anos a sua operação e mantém agora uma presença permanente tanto em Lisboa como em São Paulo no Brasil. Isto permitiu-lhe desenvolver estudos, consultoria e projetos não só em Portugal, mas também em outros países como Espanha, França, Itália, Grécia, Alemanha, Canadá, Egipto, Suíça, Brasil, Noruega, Angola, Moçambique, Camarões e Qatar. [49]

A vasta gama de projetos em que a empresa está envolvida desde salas de música e teatro a hospitais, museus, escolas e indústrias, bem como o seu apoio ao desenvolvimento de produtos para aplicações especializadas, cria um leque de experiências que tornam os serviços da empresa cada vez mais imprescindíveis. [49]

Estas experiências são o produto da sua capacidade de adaptação a vários mercados, equipas, quadros legais e métodos de construção alternativos, mas são sobretudo a consequência da confiança dos seus clientes e da sensação de segurança que são capazes de lhes proporcionar. Esta confiança permite-lhes trabalhar continuamente com empresas de engenharia reconhecidas, indústrias de todos os tipos, e arquitetos de referência nacionais e internacionais. [49]

#### 4.1.5. INSTALAÇÕES

No que diz respeito às suas instalações, o CTEB encontra-se inserido num edifício, composto por dois pisos. As áreas de acesso ao público têm cerca de 150 m<sup>2</sup>, divididos numa área aberta constituída pelo rés-do-chão e 1º andar.

A receção situa-se no átrio de entrada principal. O bengaleiro encontra-se no *foyer* de entrada, junto ao elevador.

Ainda no rés-do-chão são encontradas as casas de banho incluindo a casa de banho com acesso para pessoas com mobilidade reduzida [45].

Ambos os pisos do CTEB podem ser utilizados como espaços de exposição e para isso encontram-se devidamente equipados [45].

Por último, é no primeiro piso que também pode ser encontrado o bar [45].

No que diz respeito a sala de espetáculos está possui 275 lugares, repartidos por uma plateia com 214 lugares e um balcão com 61 lugares. Para além destes existem mais dois lugares na plateia para pessoas com mobilidade reduzida. As cadeiras estão situadas ao centro e o acesso as mesmas é efetuado por duas coxias laterais. Na continuidade das mesmas existem dois vãos de escada para acesso direto ao palco.

O palco do cineteatro possui uma área de 70 m<sup>2</sup>, dos quais 16 m<sup>2</sup> se situam à frente da boca de cena.

Existe um fosso de orquestra com cerca de 13,5 m<sup>2</sup>, equipado com um dispositivo hidráulico, que lhe permite ajustar-se a vários níveis de altura este dispositivo permite também o acesso de diverso material e equipamento.

No quadro 4.1 é feita a caracterização técnica do denominado espaço cénico:

Quadro 4.1- Caracterização técnica do espaço cénico

Palco	
Largura proscénio	7,50 m
Largura interior sem bambolinas	10,30 m
Comprimento incluindo orquestra	6,75 m
Comprimento com cortina fechada	4,35 m
Altura proscénio	5,00 m
Altura bambolinas (aproximado)	4,00 m
Altura até à teia (aproximado)	10,80 m
Desnível (fundo/frente)	1%
Boca de Cena	
Largura	7,50 m
Comprimento até à cortina	2,40 m
Fosso de Orquestra	
Largura	6,95 m
Comprimento	1,85 m

No quadro 4.2 são apresentadas as dimensões da sala sendo que estas vão ser importantes para verificar se o tempo de reverberação está de acordo com as exigências dispostas no RRAE e para o cálculo do tempo de reverberação teórica com a sala totalmente ocupada.

Estas dimensões foram obtidas recorrendo ao *Autocad* da planta da sala sendo medido o comprimento, a largura e a altura de algumas zonas da sala por fim recorrendo a cálculos obteve-se a superfície e o volume da sala.

Quadro 4.2 – Dimensões da sala de espetáculo do Cineteatro Eduardo Brazão

Dimensões da sala		
Plateia Central	Comprimento (m)	15,00
	Largura (m)	10,50
	Superfície (m <sup>2</sup> )	157,50
Balcão (piso 1)	Comprimento (m)	3,66
	Largura (m)	9,03
	Superfície (m <sup>2</sup> )	33,10
Torre de Cena	Comprimento (m)	6,80
	Largura (m)	10,90
	Superfície (m <sup>2</sup> )	74,12
	Altura média (m)	13,40
	Volume (m <sup>3</sup> )	993,21
Sala	Comprimento (m)	15,00
	Largura (m)	10,50
	Superfície (m <sup>2</sup> )	157,50
	Altura média (m)	7,1
	Volume (m <sup>3</sup> )	1.118,25
Sala + Torre de cena	Volume (m <sup>3</sup> )	2111

#### 4.1.6 PLANTAS

Neste subcapítulo são apresentadas as plantas mais essenciais ao trabalho.

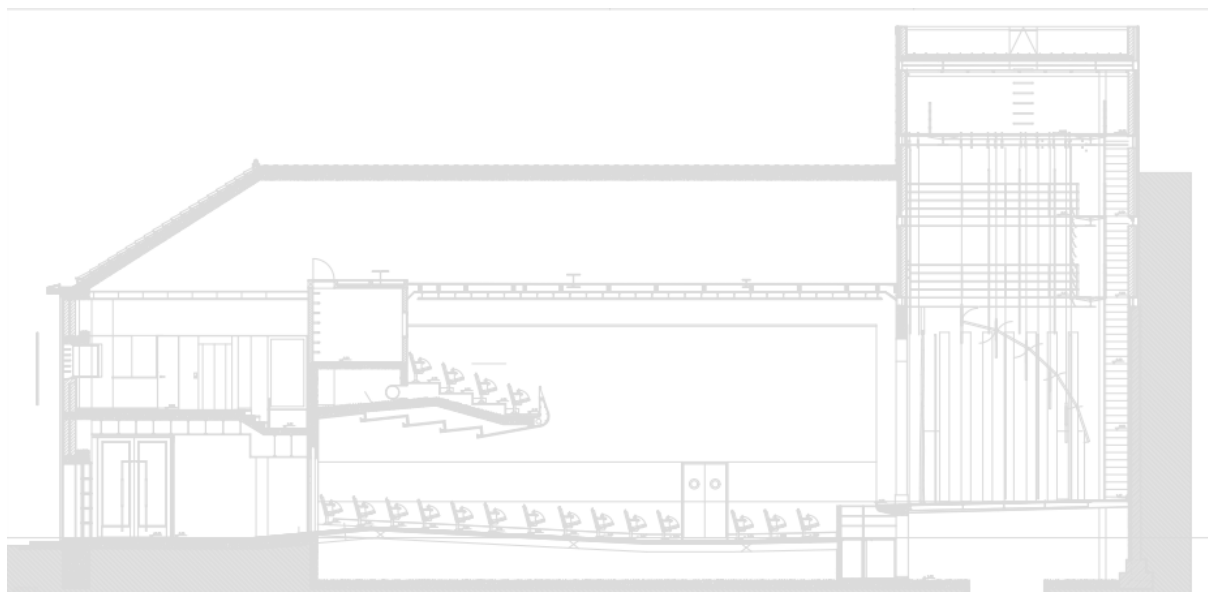


Figura 4.4 – Corte vertical do Cineteatro Eduardo Brazão [50]



Figura 4.5 – Planta do piso 0 do Cineteatro Eduardo Brazão [50]  
(A coxia central que aparece na imagem na realidade não existe)

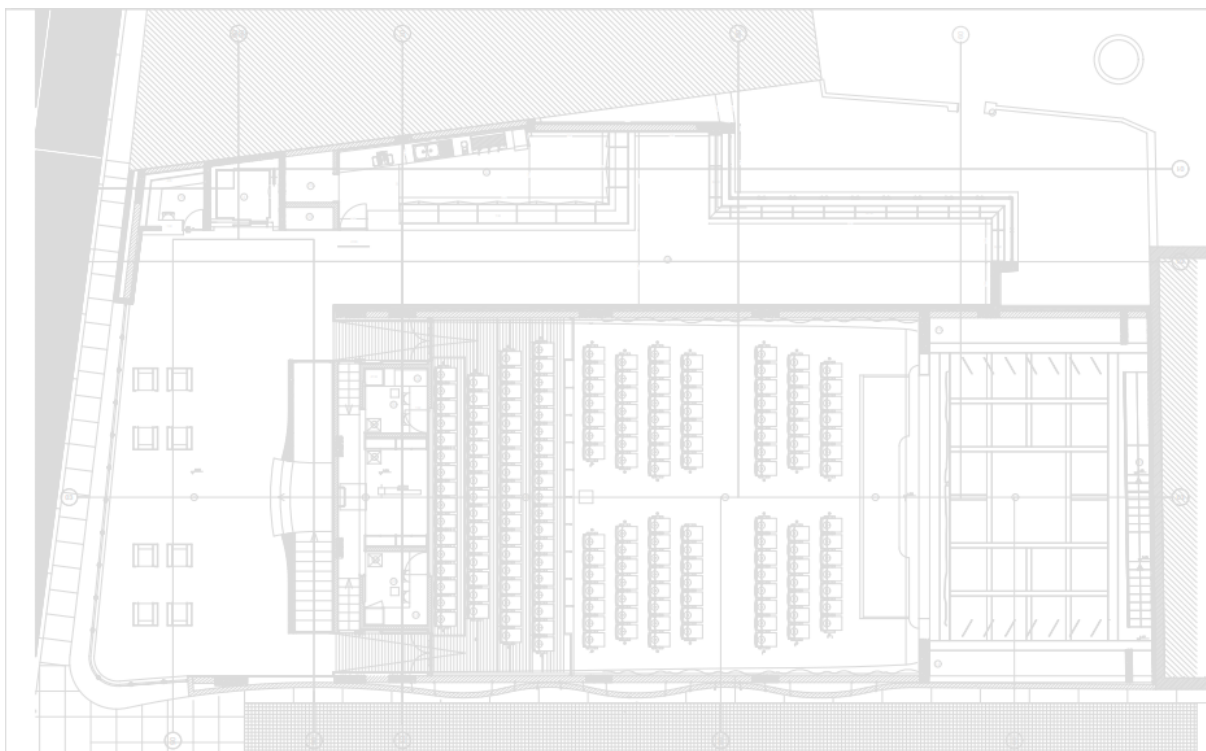


Figura 4.6 – Planta do piso 1 do Cineteatro Eduardo Brazão [50]  
(A coxia central que aparece na imagem na realidade não existe)

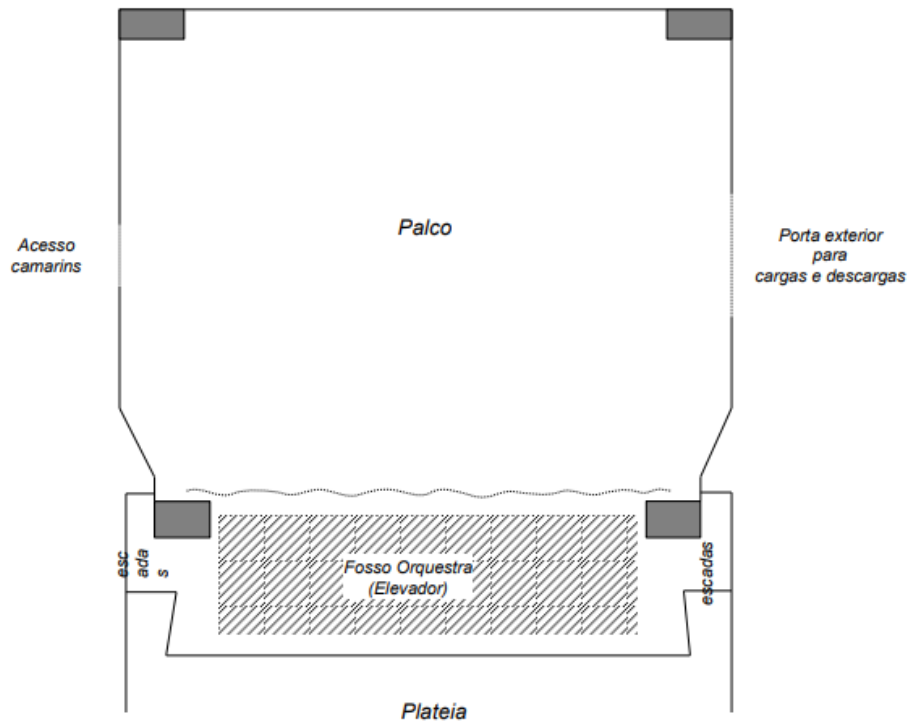


Figura 4.7 – Planta de palco do Cineteatro Eduardo Brazão [45]

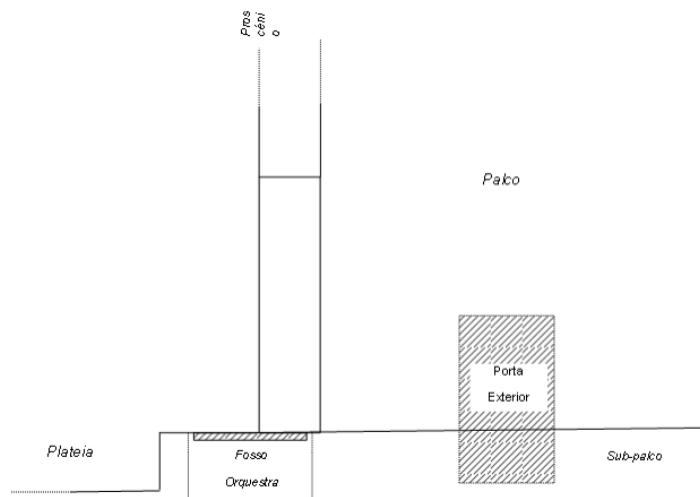


Figura 4.8 – Vista de perfil do palco do Cineteatro Eduardo Brazão [45]

## 4.2. METODOLOGIA

### 4.2.1. PARÂMETROS

A caracterização acústica do Cineteatro Eduardo Brazão foi feita através da avaliação de quatro parâmetros acústicos:

- Tempo de reverberação (TR);
- *Rapid Speech Transmission Index (RASTI)*;
- Nível sonoro do ruído de fundo sem AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado);
- Nível sonoro do ruído de fundo com AVAC.

A medição destes parâmetros foi realizada no dia 17 de novembro de 2022 pelo Engenheiro António Eduardo Batista da Costa recorrendo a equipamento disponibilizado pelo Laboratório de Acústica da FEUP.

Como já foi referido anteriormente o tempo de reverberação é o intervalo de tempo em segundos que o som demora a decair 60 dB desde que a fonte sonora para de emitir o som. No entanto, este parâmetro é obtido com base num decaimento de 30 dB, sendo posteriormente feita uma extrapolação automática para o decaimento de 60 dB.

O ruído de fundo na sala foi avaliado através do nível de pressão sonora na sala, sendo as medições feitas com a sala vazia apenas com o operador do ensaio (sem AVAC) e posteriormente repetidas com o AVAC ligado.

Depois de obtidos estes valores e a partir das curvas de incomodidade (NC e NR) podemos avaliar se os níveis de pressão sonora existentes são incomodativos para os utilizadores.

Por último realizou-se a medição do RASTI que é o parâmetro de eleição para a avaliação rápida da inteligibilidade da palavra no espaço.

### 4.2.2. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

Para a realização dos ensaios acústicos foram utilizados os seguintes equipamentos que foram requisitados ao Laboratório de Acústica da FEUP:

- Fonte Sonora Brüel & Kjær, modelo 4224 (figura 4.9);
- Sonómetro Brüel & Kjær, modelo 2260 (figura 4.9);
- Equipamento de RASTI Brüel & Kjær:
  - Emissor, modelo 4225 (figura 4.10);
  - Recetor, modelo 4419 (figura 4.10);
- Microfone de 13 mm Brüel & Kjær, modelo 4189;
- Tripé portátil Brüel & Kjær, modelo UA0049 (figura 4.9).



Figura 4.9 – Fonte sonora Brüel & Kjær, modelo 4224 (esquerda) e Sonómetro Brüel & Kjær, modelo 2260 sobre tripé portátil Brüel & Kjær, modelo UA0049 [Foto do autor]

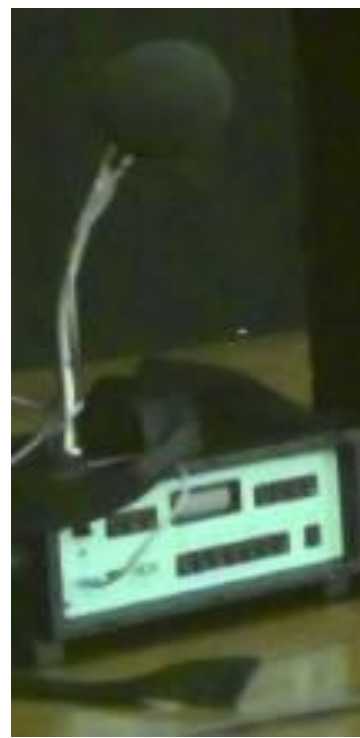


Figura 4.10 – Equipamentos de RASTI Brüel & Kjær, emissor modelo 4425 (esquerda) e recetor modelo 4419 (direita) [Fotos do autor]



#### 4.2.3. METODOLOGIA

Para a medição dos valores do tempo de reverberação, começou-se por colocar a fonte sonora no centro do palco, esta por sua vez gera um nível de pressão sonora muito elevado de forma a não ser afetada pelo ruído de fundo. De seguida, com recurso ao sonómetro (recetor) a uma altura de aproximadamente 1,30 m que será a altura normal de uma pessoa sentada a assistir a um espetáculo, foram medidos os valores do tempo de reverberação em cada um dos pontos da figura 4.10. Estes pontos foram escolhidos devido à simetria da sala em relação ao centro. Este critério foi mantido na seleção dos pontos para os restantes ensaios.

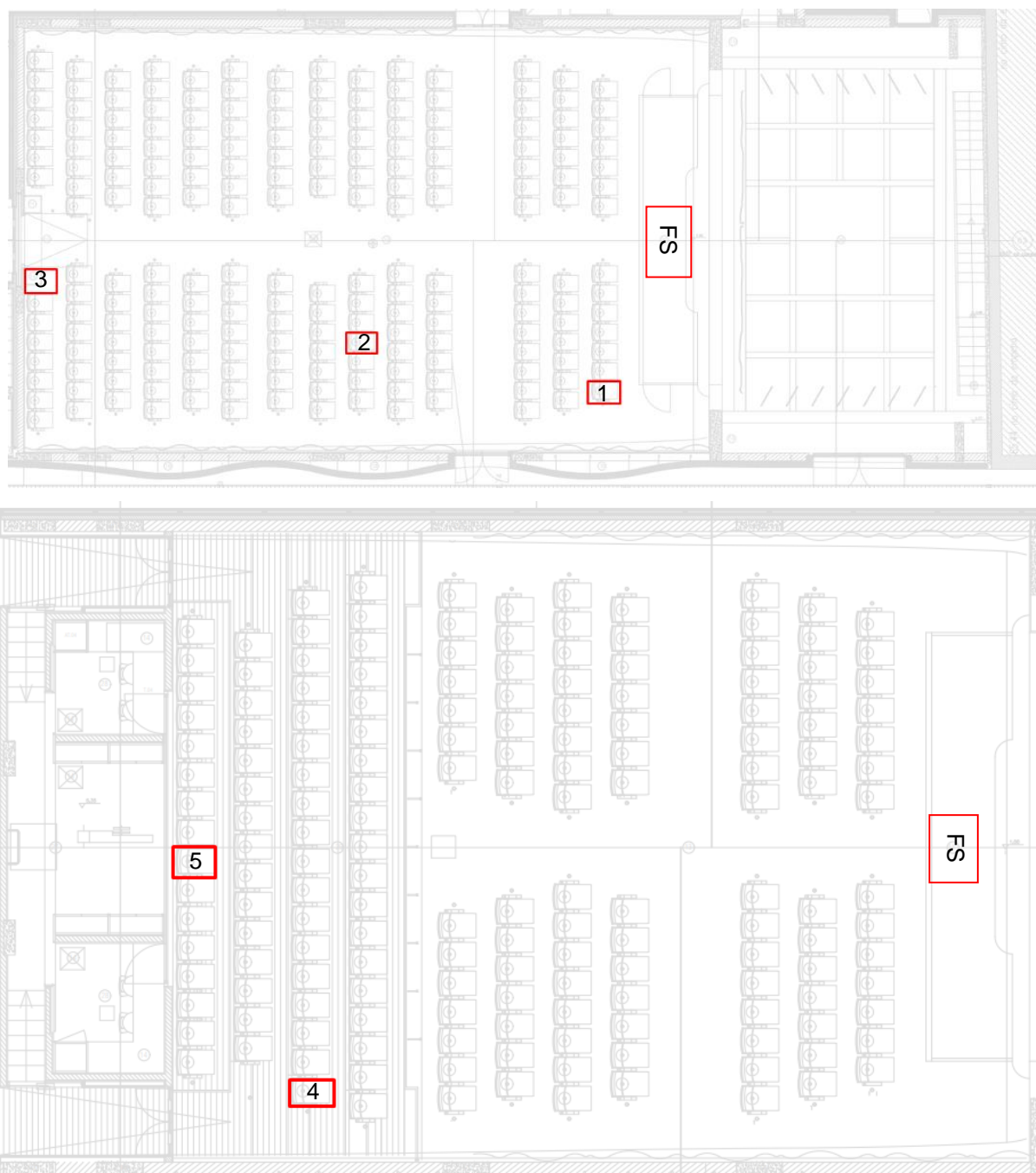


Figura 4.11 – Mapas de medições do Tempo de reverberação do piso 0 (cima) e do balcão (baixo) do Cineteatro Eduardo Brazão (Locais de medição: correspondem aos números; Posição da fonte sonora: FS)



Neste ensaio obtém-se o tempo de reverberação, nas bandas de 1/3 de oitava de 100 a 5.000 Hz.

O RASTI foi medido a seguir, neste ensaio a fonte sonora manteve a posição do ensaio anterior e foram medidos os pontos representados na figura 4.11 sendo o recetor mais uma vez móvel tendo sido deslocado pelo engenheiro António Eduardo Costa.



Figura 4.12 – Mapas de medições do RASTI do piso 0 (cima) e do balcão (baixo) do Cineteatro Eduardo Brazão (Locais de medição: correspondem aos R<sub>i</sub>; Posição da fonte sonora: FS)  
(A coxia central que aparece na imagem na realidade não existe)

Por último foi medido o nível sonoro do ruído de fundo com o AVAC ligado e desligado. Neste caso o ponto N4 junto a porta de saída também foi medido tendo em conta um ruído estranho junto da porta de acesso ao balcão e que como vamos poder ver mais a frente afeta o valor do nível sonoro do ruído de fundo.

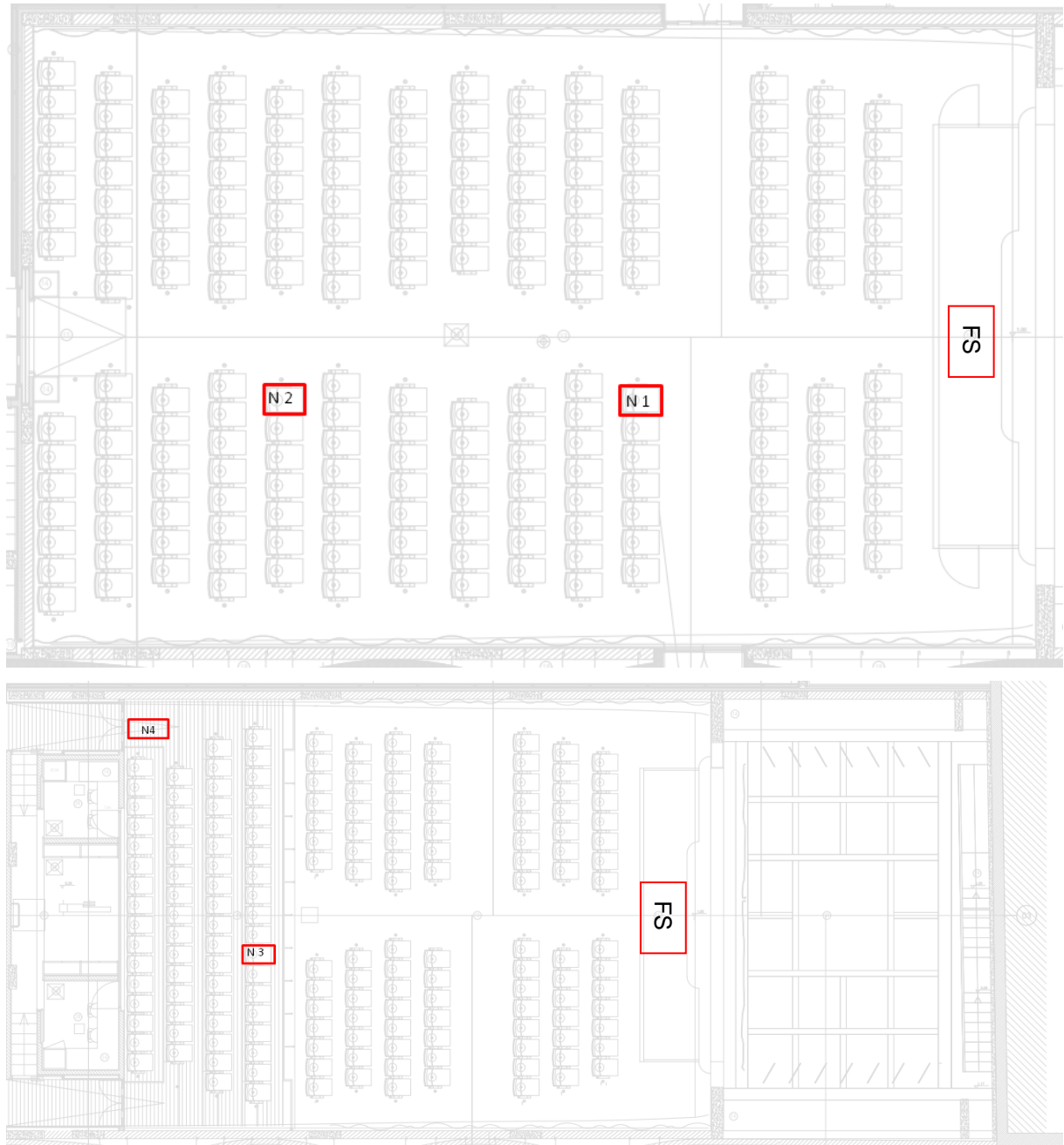


Figura 4.13 – Mapas de medições do nível sonoro do ruído de fundo do piso 0 (esquerda) e do balcão (direita) do Cineteatro Eduardo Brazão (Locais de medição: correspondem aos  $N_i$ ; Posição da fonte sonora: FS)  
(A coxia central que aparece na imagem na realidade não existe)

# 5

## Resultados das Medições

### 5.1 TEMPO DE REVERBERAÇÃO

No quadro 5.1 estão apresentados os valores do tempo de reverberação na sala de espetáculos do CTEB. Os pontos medidos são identificados conforme o seu número de fila que começa na fila A junto ao palco e termina na fila N junto a porta de saída. No balcão recomeça na fila A e termina na fila D, quanto ao número do assento começa em 1 na extremidade esquerda da fila e termina em 8 a meio da fila.

Como já foi apresentado no capítulo 3.4, segundo o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios sabendo que a sala de espetáculos do CTEB um volume de  $2111 \text{ m}^3$  e este se encontra entre 250 e os  $9.000 \text{ m}^3$  logo pela equação 3.3, sabemos que o tempo de reverberação médio da sala para as bandas de oitava de 500, 1.000 e 2.000 Hz com o recinto mobilado normalmente e sem ocupação têm de ser inferior a 0,89 s. A este valor ainda se aplica um fator percentual de incerteza (I) que é 35%. Neste caso pelo quadro 5.2 podemos confirmar que o tempo de reverberação aplicado o fator de incerteza é inferior aquele regulamentado logo a sala cumpre com as exigências dispostas no RRAE.

É também necessário verificar se o tempo de reverberação é o adequado ao uso da sala, no quadro 5.3, estão representados os valores desejáveis para o tempo de reverberação para a média das bandas de frequência de oitava de 500 e 1.000 Hz.

O valor obtido para o tempo de reverberação para a média das bandas de frequência de oitava de 500 e 1.000 Hz foi de 1,10s e é com este valor que é feita a comparação no quadro 5.3.

Tendo em conta os resultados obtidos no quadro 5.3 podemos observar que a sala apesar de ser aceitável para o cinema a mesma não é adequada nem para o teatro nem para a maioria dos estilos de música sendo que há muitos concertos que fazem parte da programação do CTEB.

Neste caso também podemos verificar a dificuldade de conceber uma sala “boa para tudo” pois para que está seja adequada para cinema é preciso diminuir o TR e para a música aumentar o mesmo.

Quadro 5.1 – Resultado das medições do Tempo de Reverberação (T30) na sala de espetáculos do Cineteatro Eduardo Brazão em bandas de frequência de terço de oitava, de cada lugar medido, incluindo a media aritmética das medições de todos os lugares divididos por banda de frequência

T <sub>30</sub> sala de espetáculos (s)						
Frequência (Hz)	Ponto de medição (lugar)					Média
	A1	F4	N8	B1 (balcão)	D8 (balcão)	
100	0,81	1,10	1,11	0,90	1,34	1,05
125	1,14	1,16	0,94	0,94	1,11	1,06
160	1,14	0,99	1,10	0,87	1,18	1,06
200	1,15	1,21	1,22	0,87	1,25	1,14
250	1,14	1,17	0,95	0,98	1,08	1,06
315	1,10	1,15	1,05	0,97	1,00	1,05
400	1,13	1,03	1,14	1,01	1,11	1,08
500	1,14	1,07	1,08	1,03	1,22	1,11
630	1,09	1,17	1,16	1,13	1,07	1,12
800	1,08	1,12	1,02	0,95	1,09	1,05
1.000	1,06	1,10	1,11	1,12	1,07	1,09
1.250	1,12	1,13	1,11	1,18	1,12	1,13
1.600	1,15	1,20	1,14	1,19	1,19	1,17
2.000	1,17	1,16	1,19	1,18	1,10	1,16
2.500	1,24	1,22	1,20	1,19	1,15	1,20
3.150	1,25	1,19	1,16	1,20	1,15	1,19
4.000	1,19	1,17	1,17	1,17	1,19	1,18
5.000	1,10	1,12	1,13	1,17	1,14	1,13

Quadro 5.2 – Valores médios do tempo de reverberação medidos no Cineteatro Eduardo Brazão para as bandas de frequência de 1/1 oitava entre os 500 e os 2.000 Hz, respetivo valor medio e o valor com a percentagem de incerteza de 35% aplicada, incluindo o valor regulamentar para avaliação do cumprimento do RRAE

Banda de frequência de 1/1 oitava (Hz)	Tempo de reverberação médio medido (s)	Tempo de reverberação médio (s)	Tempo de reverberação com incerteza de 35% associada (s)	Tempo de reverberação máximo do RRAE (S)	RRAE
500	1,10	1,12	0,73	0,89	Cumpre
1.000	1,09				
2.000	1,18				

Quadro 5.3 – Comparação dos valores ideais do tempo de reverberação (500 – 1.000 Hz) em função do tipo de utilização [1] com o valor médio obtido na sala vazia do CTEB (1,10 s).

Tipo de Uso	Tempos de reverberação ideais (500-1.000 Hz) (s)	Comparação com o CTEB ( $T_{500-1.000 \text{ Hz}} = 1,10 \text{ s}$ )
Drama	0,9 – 1,1	Adequado
Conferências	0,9 – 1,1	Adequado
Cinema	0,8 – 1,0	Aceitável
Teatro	0,7 – 0,9	Não adequado
Estúdio de gravação	0,4 – 0,6	Não adequado
Auditórios escolares	1,5 – 1,8	Não adequado
Auditórios com propósitos gerais	1,6 – 1,8	Não adequado
Auditório (Palavra)	0,7 – 0,8	Não adequado
Música popular	0,8 – 1,0	Aceitável
Música sinfónica Barroca	1,4 – 1,6	Não adequado
Música sinfónica Clássica	1,6 – 1,8	Não adequado
Música sinfónica Romântica	1,9 – 2,2	Não adequado
Música sinfónica Moderna	1,4 – 1,9	Não adequado
Ópera (não wagneriana)	1,3 – 1,7	Não adequado
Ópera (Wagner)	1,8 – 1,9	Não adequado

## 5.2 TEMPO DE REVERBERAÇÃO COM A SALA OCUPADA (PREVISÃO)

Ainda que seja muito importante a obtenção do tempo de reverberação com a sala vazia para verificar a conformidade com o RRAE, é também muito útil explorar o valor do tempo de reverberação quando está presente uma audiência pois será esta a realidade na maior parte dos casos práticos.

Partindo então do princípio de que a sala se encontra completamente ocupada e assumindo uma “faixa” absorvente de 0,5 m em todo perímetro das cadeiras, pode-se realizar cálculos recorrendo à fórmula de *Sabine* (expressões 2.14 e 2.15) para calcular o novo tempo de reverberação previsível.

O tempo de reverberação médio (500/1.000/2.000 Hz) da sala iria se então alterar de 1,12 para 1,02 s.

Os parâmetros utilizados encontram-se no quadro 5.4 e os cálculos efetuados no quadro 5.5.

A diminuição do tempo de reverberação deve-se ao facto do público absorver as altas frequências transmitidas.

Os coeficientes de absorção, do quadro 5.4, são os apropriados para cadeiras de estofado médio desocupadas ou com audiência sentada nas mesmas [1].

Pelo quadro 5.5 pode-se também observar que quando a sala se encontra completamente lotada o tempo de reverberação para a média das bandas de frequência de oitava de 500 e 1.000 Hz já se encontra dentro

do intervalo aceitável para o teatro e adequado para o cinema (1,02 s), por fim, na figura 5.1 estão representados os diferentes tempos de reverberação com a sala vazia e ocupada para cada banda de 1/1 de oitava.

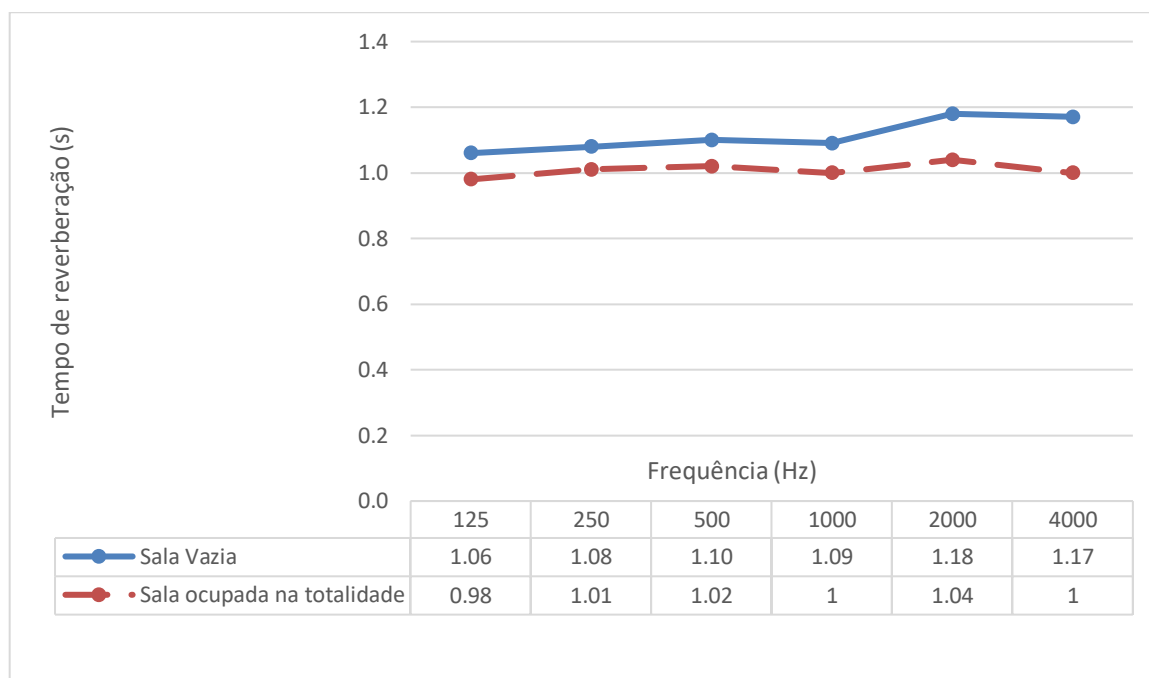
Quadro 5.4 – Parâmetros usados para o cálculo do tempo de reverberação com a sala toda ocupada.

Parâmetros								
Área da plateia (Piso 0) (m <sup>2</sup> )	168	S cadeiras (m <sup>2</sup> )					210	
		Volume (m <sup>3</sup> )					2111	
		Frequência (Hz)	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Área do balcão (Piso 1) (m <sup>2</sup> )	42	$\alpha$ (cadeira vazia)	0,56	0,64	0,70	0,72	0,68	0,62
		$\alpha$ (cadeira ocupada)	0,68	0,75	0,82	0,85	0,86	0,86
		$\Delta\alpha$	0,12	0,11	0,12	0,13	0,18	0,24
		$\Delta\alpha*S$ (m <sup>2</sup> )	25,20	23,10	25,20	27,30	37,80	50,40

Quadro 5.5 – Cálculo dos valores previsíveis do tempo de reverberação para a sala ocupada para cada banda de 1/1 de oitava de 125 a 4.000 Hz

Frequência (Hz)	Média TR (s)	A inicial (m <sup>2</sup> )	A total (m <sup>2</sup> )	TR previsto (s)	TR médio 500/1.000/2.000 Hz previsto (s)
125	1,06	318,49	343,69	0,98	
250	1,08	312,59	335,69	1,01	
500	1,10	306,91	332,11	1,02	1,02
1.000	1,09	309,87	337,17	1,00	
2.000	1,18	286,24	324,04	1,04	
4.000	1,17	288,68	339,08	1,00	

Figura 5.1 - Tempos de reverberação com a sala vazia e ocupada para cada banda de 1/1 de oitava.



### 5.3 RÚIDO DE FUNDO

Como já foi analisado no subcapítulo 3.4 no interior de recintos, o nível sonoro contínuo equivalente,  $L_{Aeq}$ , associado ao funcionamento do AVAC, deve, com a sala desocupada e diminuído do fator I no valor de 3 dB(A), satisfazer a expressão 3.9.

Nos quadros 5.6 e 5.7 estão os resultados das medições do ruído de fundo na sala de espetáculos com o sistema AVAC desligado e ligado respetivamente.

No quadro 5.7, em específico, pode-se observar que em todos os pontos o valor de  $L_{Aeq}$  é superior, ao regulamentado (30 dB) e mesmo quando aplicada a incerteza de 3 dB todos os pontos medidos continuam a encontrar-se fora do valor previsto no regulamento.

Desta forma, a sala de espetáculos pelo estipulado no RRAE, não cumpre com o regulamento.

Na figura 5.3 pode-se ainda ver que junto a entrada do balcão os valores são muito superiores aos restantes isto deve-se a um ruído estranho junto ao elevador, que só existe quando o AVAC se encontra ligado provocando um agravamento do nível de pressão sonora do ruído de fundo algo significativo.

Na figura 5.4 estão representadas as médias energéticas para a situação onde o sistema AVAC se encontra desligado e para quando este se encontra ligado como se pode observar na mesma existe um grande aumento para o valor do nível de pressão sonora quando o AVAC se encontra ligado.

Comparando a média energética do  $L_{Aeq}$  com o AVAC desligado (31,8 dB) e com o AVAC ligado (37,2) pode-se observar que o valor com o AVAC desligado é quase “4 vezes inferior” ao valor com o AVAC ligado.

No quadro 5.8, pode-se verificar que a sala não cumpre com o RRAE sendo que o valor do nível de pressão sonora do ruído de fundo possa implicar uma possível substituição do AVAC por um menos

ruidoso de forma a não só passar a cumprir o regulamento como a preservar a qualidade acústica da sala de espetáculos existente quando o sistema AVAC se encontra desligado.

Quadro 5.6 [1/2] – Resultados das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) na sala de espetáculos, com o AVAC desligado, nos diferentes pontos medidos, incluindo a média energética das medições nos diferentes pontos para as bandas de frequência dos 12,5 aos 8.000 Hz, com os valores do nível de pressão sonora contínuo equivalente de cada ponto medido, sem a ponderação do filtro A ( $L_{Aeq}$ ) e com a ponderação do filtro A ( $I_{Aeq}$ ).

L <sub>ruído de fundo</sub> (dB)					
Frequência (Hz)	Pontos de Medição (lugar)				Média energética
	D8	J8	A8 (balcão)	Entrada (balcão)	
12,5	52,2	54,3	43,9	48,4	49,7
16	52,9	57,2	50,8	46,8	52,0
20	47,0	50,0	51,3	47,2	48,9
25	42,5	51,8	40,5	44,4	44,8
31,5	45,1	40,8	41,1	44,4	42,9
40	55,3	51,5	43,2	43,0	48,3
50	44,1	46,7	40,8	42,2	43,5
63	35,6	37,4	36,3	35,1	36,1
80	44,1	48,2	31,3	31,6	38,8
100	33,0	35,0	32,0	25,8	31,5
125	33,5	39,2	29,6	28,5	32,7
160	34,2	37,3	25,1	22,9	29,9
200	29,5	36,6	23,0	19,9	27,3
250	28,3	33,9	20,0	18,1	25,1
315	30,2	32,2	20,6	18,5	25,4
400	29,8	34,0	18,3	17,9	25,0
500	24,8	30,6	18,0	16,1	22,4
630	18,9	27,0	18,3	17,6	20,5
800	17,4	26,7	19,7	19,8	20,9
1.000	18,7	23,4	18,1	17,4	19,4
1.250	17,6	27,4	16,7	17,8	19,9
1.600	16,0	22,5	15,9	17,2	17,9
2.000	15,4	19,5	15,5	16,9	16,8
2.500	14,9	18,3	13,4	15,0	15,4



Quadro 5.6 [2/2] – Resultados das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) na sala de espetáculos, com o AVAC desligado, nos diferentes pontos medidos, incluindo a média energética das medições nos diferentes pontos para as bandas de frequência dos 12,5 aos 8.000 Hz, com os valores do nível de pressão sonora contínuo equivalente de cada ponto medido, sem a ponderação do filtro A ( $L_{eq}$ ) e com a ponderação do filtro A ( $l_{Aeq}$ ).

L <sub>ruído de fundo</sub> (dB)					
Frequência (Hz)	Pontos de Medição (lugar)				Média energética
	D8	J8	A8 (balcão)	Entrada (balcão)	
3.150	15,3	18,1	13,8	14,8	15,5
4.000	14,7	16,8	14,7	14,7	15,2
5.000	14,8	16,9	13,2	13,9	14,7
6.300	11,9	15,2	12,3	12,5	13,0
8.000	13,4	15,5	13,0	14,4	14,1
$L_{eq}$ (dB)	61,5	61,9	58,5	60,0	60,5
$L_{Aeq}$ (dB)	33,7	36,1	28,8	28,7	31,8

Quadro 5.7 [1/2] – Resultados das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) na sala de espetáculos, com o AVAC ligado, nos diferentes pontos medidos, incluindo a média energética das medições nos diferentes pontos para as bandas de frequência dos 12,5 aos 8.000 Hz, com os valores do nível de pressão sonora contínuo equivalente de cada ponto medido, sem a ponderação do filtro A ( $L_{eq}$ ) e com a ponderação do filtro A ( $l_{Aeq}$ ).

L <sub>ruído de fundo</sub> (dB)					
Frequência (Hz)	Pontos de Medição (lugar)				Média energética
	D8	J8	A8 (balcão)	Entrada (balcão)	
12,5	68,7	67,4	62,3	66,6	66,3
16	62,2	60,8	55,4	59,9	59,6
20	51,9	47,4	44,4	51,8	48,9
25	51,4	45,2	48,0	45,6	47,6
31,5	45,2	44,8	45,1	44,9	45,0
40	46,7	44,6	46,5	46,4	46,1
50	49,7	51,8	49,6	48,5	49,9
63	43,0	43,7	42,9	47,2	44,2
80	42,8	39,7	46,2	44,3	43,3
100	41,9	40,0	41,9	47,2	42,8
125	37,9	35,8	36,5	38,2	37,1

Quadro 5.7 [2/2] – Resultados das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) na sala de espetáculos, com o AVAC ligado, nos diferentes pontos medidos, incluindo a média energética das medições nos diferentes pontos para as bandas de frequência dos 12,5 aos 8.000 Hz, com os valores do nível de pressão sonora contínuo equivalente de cada ponto medido, sem a ponderação do filtro A ( $L_{eq}$ ) e com a ponderação do filtro A ( $L_{Aeq}$ ).

L <sub>ruído de fundo</sub> (dB)					
Frequência (Hz)	Pontos de Medição (lugar)				Média energética
	D8	J8	A8 (balcão)	Entrada (balcão)	
160	38,4	35,7	36,3	37,2	36,9
200	34,2	35,2	33,4	36,5	34,8
250	31,9	32,7	30,6	34,8	32,5
315	30,7	30,9	29,9	33,2	31,2
400	29,1	30,2	28,6	31,3	29,8
500	27,5	28,4	25,8	28,3	27,5
630	25,4	26,5	23,9	27,4	25,8
800	25,7	26,2	24,2	30,2	26,6
1.000	28,2	28,9	27,1	30,7	28,7
1.250	28,7	29,3	27,4	31,7	29,3
1.600	24,4	25,1	23,3	27,6	25,1
2.000	17,9	18,4	18,0	21,1	18,9
2.500	14,4	15,2	14,8	17,6	15,5
3.150	13,0	13,8	12,7	16,0	13,9
4.000	12,2	13,2	11,7	13,9	12,8
5.000	12,0	13,1	11,7	12,3	12,3
6.300	11,0	11,7	10,6	11,8	11,3
8.000	11,6	12,5	11,0	11,1	11,6
$L_{eq}$ (dB)	70,3	69,0	66,0	68,1	68,4
$L_{Aeq}$ (dB)	36,7	37,1	35,8	39,3	37,2

Nas figuras 5.2 e 5.3 estão representados os valores das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo nos pontos medidos da sala de espetáculos por bandas de frequência de terço de oitava (Hz), com o sistema AVAC desligado e ligado respetivamente.

Pela análise desses gráficos pode-se ver que os maiores valores dos níveis de pressão sonora do ruído de fundo são registados nos graves (20 a 355 Hz), rondando valores entre 25 e 50 dB.

Figura 5.2 – Valores das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) dos pontos medidos na sala de espetáculos por bandas de frequência de terço de oitava (Hz), dos 12,5 aos 8.000 Hz, com o AVAC desligado

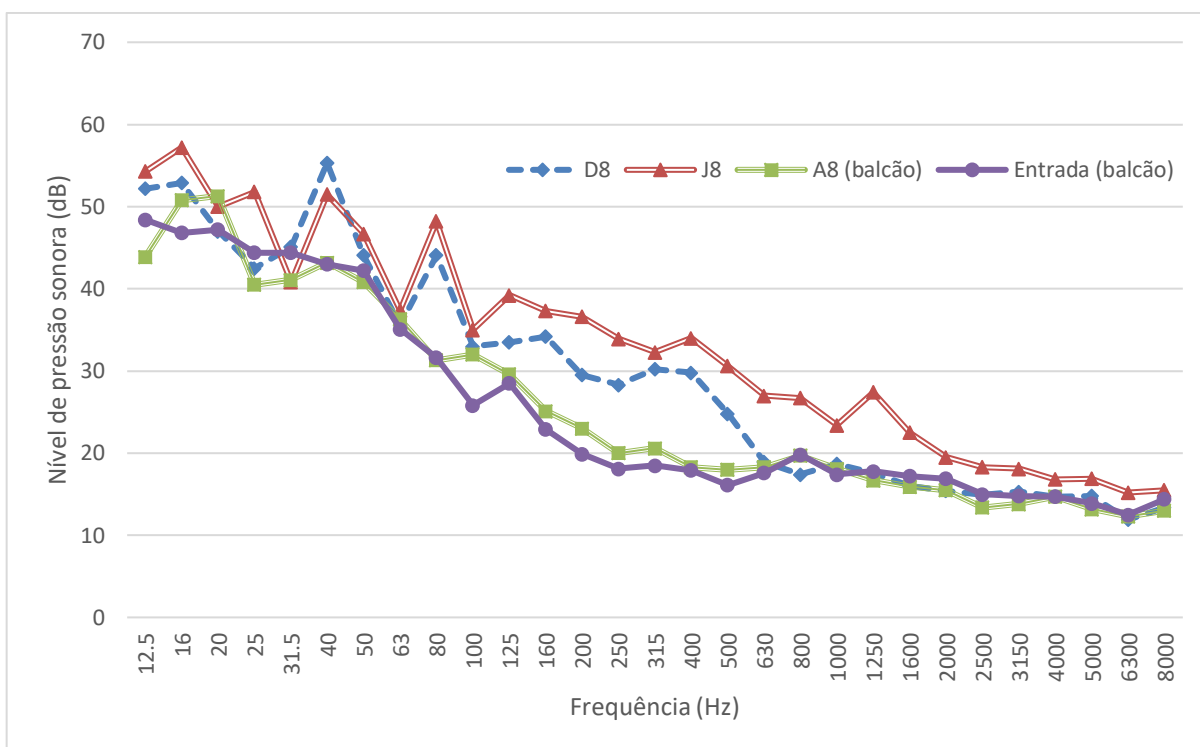


Figura 5.3 – Valores das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) dos pontos medidos na sala de espetáculos por bandas de frequência de terço de oitava (Hz), dos 12,5 aos 8.000 Hz, com o AVAC Ligado

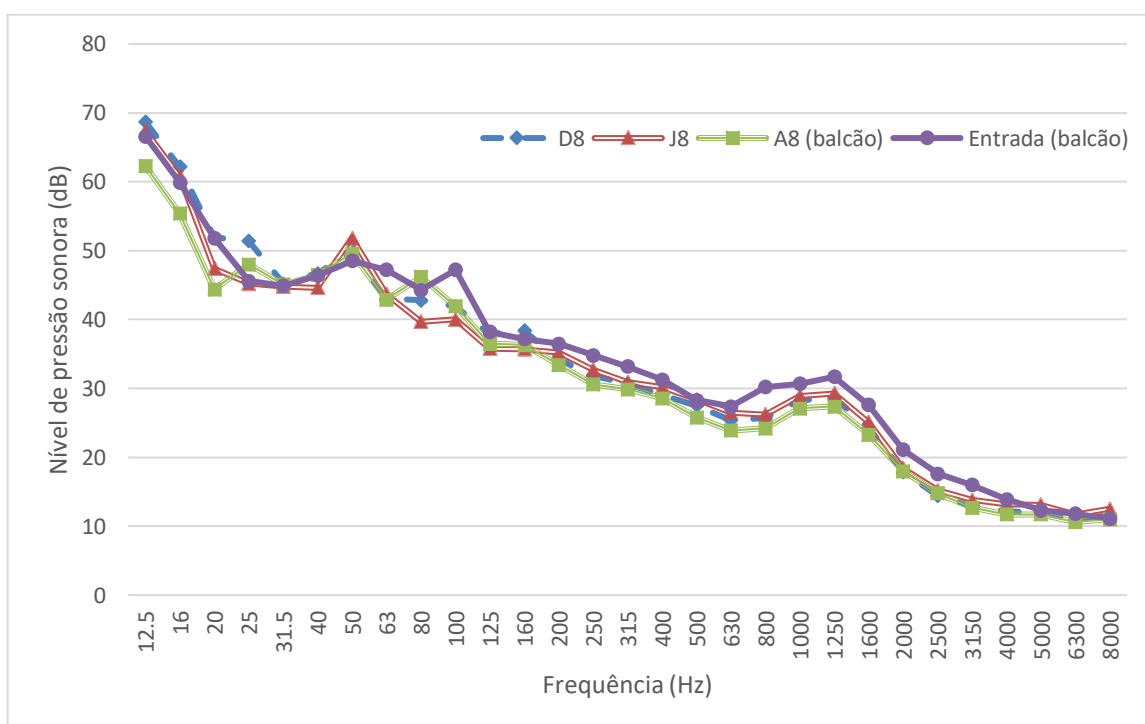
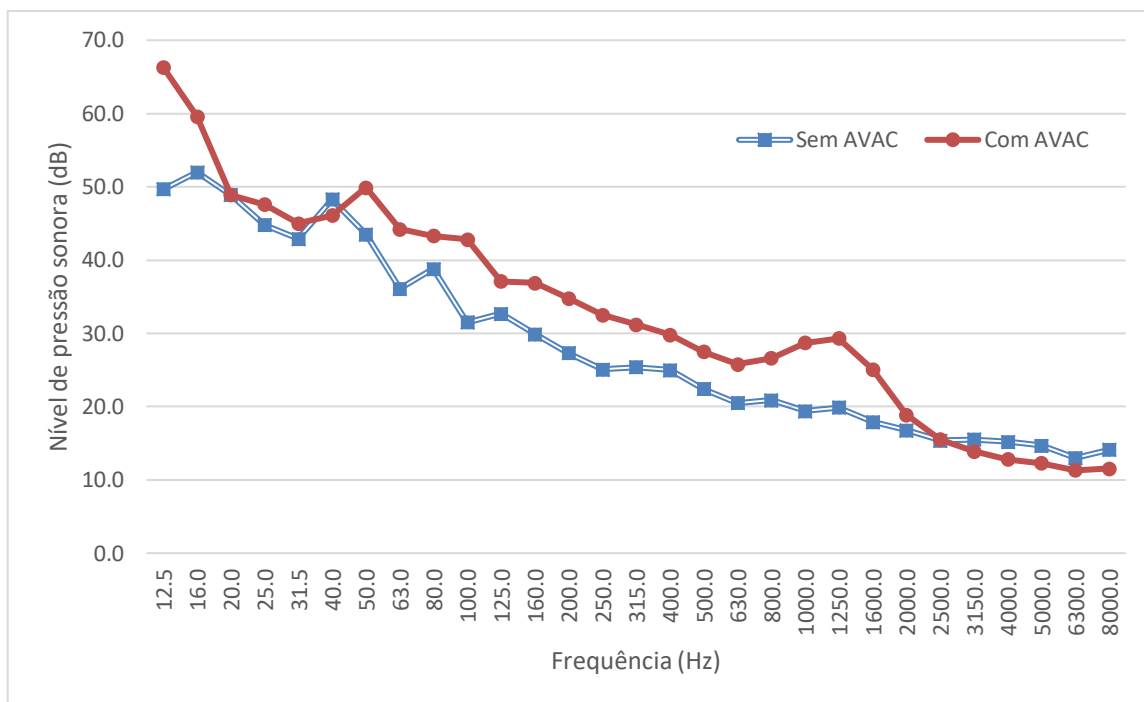


Figura 5.4 – Valores médios das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) na sala de espetáculos por bandas de frequência de terço de oitava (Hz), dos 12,5 aos 8.000 Hz, com o AVAC ligado e desligado.



Quadro 5.8 - Valores dos níveis sonoros contínuos equivalentes com o AVAC ligado (medidos, regulamentares e com a incerteza associada)

$L_{Aeq}$	Valor (dB)	Comparação com o RRAE
Regulamentar	Cinemas $\leq 38$	Não cumpre 30 dB
	Restantes $\leq 30$	
Média energética	AVAC 37,2	
Média energética com a incerteza associada	AVAC 34,2	

#### 5.4 CURVAS DE INCOMODIDADE

Como já foi abordado no subcapítulo 2.5.8, as curvas NC (*Noise Criterion*) e NR (*Noise Rating*) são critérios de conforto acústico. As curvas de incomodidade permitem analisar o ruído de fundo ou de equipamentos para determinar o ambiente aceitável para facilitar o discurso e a comunicação e para reduzir o incómodo.

Foi feita a sobreposição das curvas com os valores médios dos níveis de pressão sonora, para as condições apresentadas anteriormente, num gráfico que contém as curvas NC e NR, sendo obtidos os respetivos valores e posteriormente comparando estes com os valores recomendados.

As curvas de NR incluem as bandas de frequência de 31,5 a 8.000 Hz enquanto as curvas do NC compreendem as bandas de frequência entre os 63 a 8.000 Hz.

Apresentam-se nas figuras 5.5 e 5.6 as sobreposições da curva com os valores médios das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo, às curvas NC e NR respetivamente.

É apenas sobreposta a curva correspondente aquando o AVAC se encontra ligado pois estas curvas são utilizadas para classificar ruído proveniente de equipamentos de ar condicionado e similares, sendo que não faria sentido sobrepor a curva correspondente aquando o AVAC não se encontra ligado.

Nos quadros 5.9 e 5.10, é feita a comparação dos valores máximos recomendados dos níveis de NR e NC respetivamente, com os valores obtidos para a sala de espetáculos.

Figura 5.5 – Comparação dos níveis médios de pressão sonora do ruído de fundo, na sala de espetáculos, com o AVAC ligado, com as curvas NR

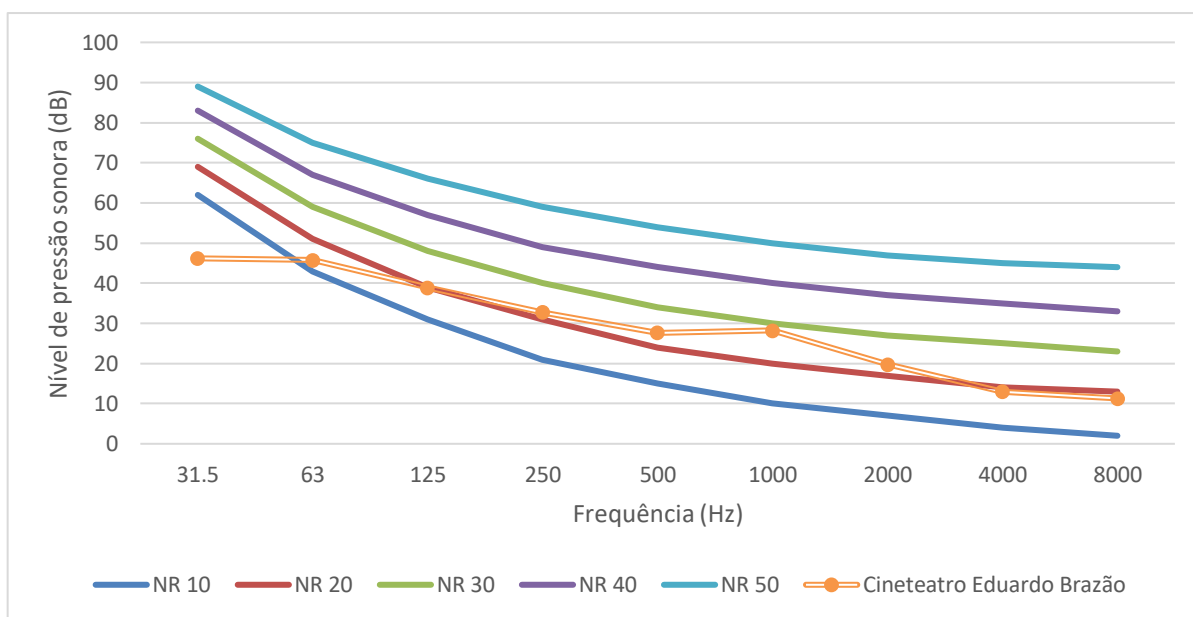
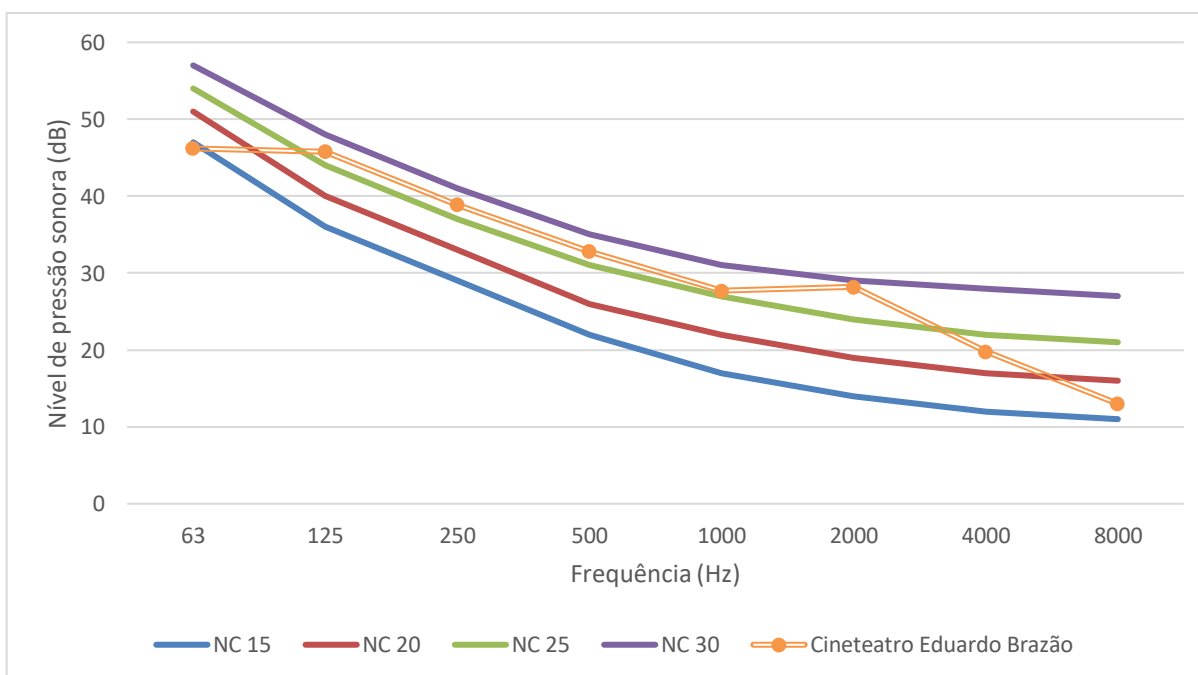


Figura 5.6 – Comparação dos níveis médios de pressão sonora do ruído de fundo, na sala de espetáculos, com o AVAC ligado, com as curvas NC



Quadro 5.9 – Valores máximos recomendados do nível NR. [38]

Tipo de recinto	Valor limite máximo de <i>Noise Rating</i>	NR Sala (AVAC ligado)	Comparação
Grandes salas de concerto	NR-15	NR 28	Não cumpre
Ópera e teatros de drama	NR-20		Não cumpre
Auditórios pequenos (até 500 lugares)	NR-25		Não cumpre

Quadro 5.10 - Valores máximos recomendados do nível NC. [1]

Tipo de recinto	Valor limite máximo de <i>Noise Criterion</i>	NC Sala (AVAC ligado)	Comparação
Salas de concerto, casas de ópera, grandes auditórios	< NC-20	NC 28	Não cumpre
Pequenos auditórios, teatros, salas de música, grandes salas de conferências	NC-20 até NC-30		Cumpre
Pequenas salas de conferência	NC-30 até NC-35		Não cumpre

## 5.5 RASTI

Para obter os valores do parâmetro RASTI, foram realizadas três medições, em cada um dos pontos, tendo sido feita uma média aritmética das três, sendo o valor dessa média o valor relevante para a análise.

No quadro 5.11, estão os valores obtidos nas medições do parâmetro RASTI.

Como se pode observar pelo quadro 5.11 os valores do parâmetro sofrem de uma variação considerável entre 0,55 e 0,70 (mínimo e máximo respetivamente) estando estes valores a negrito na tabela.

O valor máximo ocorre para o lugar A7 que corresponde ao lugar mais centrado da sala e o mais próximo possível da fonte sonora o que é compreensível por outro lado o valor mínimo ocorre para o lugar M1 que equivale ao lugar mais distante da fonte sonora e o mais a esquerda da fonte sonora.

Como já foi abordado no subcapítulo 2.5.7.3, o valor do RASTI corresponde a um grau de inteligibilidade da palavra, tendo em conta que um valor pertencente ao intervalo:

- [0,45 – 0,60] é o equivalente a uma inteligibilidade suficiente;
- [0,60 – 0,75] corresponde a uma boa inteligibilidade.

No caso do Cineteatro Eduardo Brazão todos os valores medidos encontram-se nestes intervalos.

A inteligibilidade da palavra no CTEB é maioritariamente suficiente (células a sombreado) sendo que a maior parte desses valores se localizam no percentil superior muito próximos de uma boa inteligibilidade.

Quadro 5.11 – Valores do parâmetro RASTI medidos na sala de espetáculos do CTEB

RASTI						
Posição			Medição			
Fila	Lugar	Ponto	1	2	3	Média
A	7	R1	0,69	0,70	0,71	<b>0,70</b>
	1	R2	0,61	0,62	0,61	0,61
F	7	R3	0,60	0,58	0,58	0,59
	1	R4	0,56	0,56	0,57	0,56
M	7	R5	0,58	0,59	0,60	0,59
	1	R6	0,56	0,55	0,54	<b>0,55</b>
A (balcão)	7	R7	0,66	0,64	0,65	0,65
	1	R8	0,58	0,58	0,58	0,58
C (balcão)	7	R9	0,62	0,61	0,61	0,61
	1	R10	0,58	0,58	0,58	0,58

## 5.6 COMPARAÇÃO COM OUTRAS SALAS

### 5.6.1 INTRODUÇÃO

Neste subcapítulo vão ser comparados os valores obtidos em cada um dos ensaios, no CTEB, com outras salas com diferentes propósitos.

### 5.6.2 TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Na figura 5.7 podemos comparar o tempo de reverberação em função das bandas de frequência de terço de oitava do CTEB com outras salas anteriormente estudadas sendo elas o Fórum Braga, o Centro de Artes de Águeda, o Cineteatro Esmoriz e o Auditório FEUP.

É importante referir que no caso do Cineteatro Esmoriz este ainda não se encontrava mobilado pelo que os valores do tempo de reverberação são bastante superiores aos restantes e que no caso do Auditório FEUP, as medições foram feitas em bandas de frequência de oitava.

Na figura 5.8 é feita a comparação do tempo de reverberação médio para as bandas de frequência de 1/1 oitava entre os 500 e os 2.000 Hz tendo em conta o volume das salas. Como podemos observar nas expressões 2.14 e 2.15 apresentadas anteriormente o volume das salas é diretamente proporcional ao tempo de reverberação como tal seria de esperar um maior tempo de reverberação nas salas maiores sendo que é graças a absorção sonora dos materiais presentes nas mesmas que isto não se verifica.

É também na figura 5.8 que pode-se observar a linha de tendência linear e o seu valor de  $R^2$  (0,2984), ao contrário do que seria de esperar pela fórmula de Sabine a relação do tempo de reverberação com o volume não é tão linear como o esperado uma vez que o valor de  $R^2$  é muito baixo.

Isto pode ser explicado pelo facto que algumas destas salas em comparação com outras deixam um pouco a desejar no projeto de acústica concebido para a mesma.

Sendo que ainda pela análise da figura 5.8 podemos observar que o maior tempo de reverberação ocorre no Cineteatro Esmoriz que na altura ainda não se encontrava mobilado e como tal a absorção sonora era significativamente menor seguido pelo auditório da FEUP que apesar de se apresentar como a sala com menor volume das 5 ainda assim apresenta um tempo de reverberação enorme e inadequado para o propósito da sala.

Na figura 5.9, é estabelecida a relação entre o tempo de reverberação com o número de lugares de cada sala.

Ao contrário do que acontecia na figura 5.8 no caso da figura 5.9 é esperado que um maior número de lugares equivalha a uma maior absorção (m<sup>2</sup>) e consequentemente a um menor tempo de reverberação.

É importante salientar que o Cineteatro Esmoriz não entra na figura 5.9 uma vez que o mesmo ainda se encontrava em fase de construção e, portanto, não existem lugares no mesmo.

Na figura 5.9, é observado mais uma vez que a linha de tendência linear e o seu valor de R<sup>2</sup> (0,073) mais uma vez não está de acordo com as expetativas.

Figura 5.7 – Comparação do tempo de reverberação para as diferentes bandas de frequência de terço de oitava. [26][55][56][57]

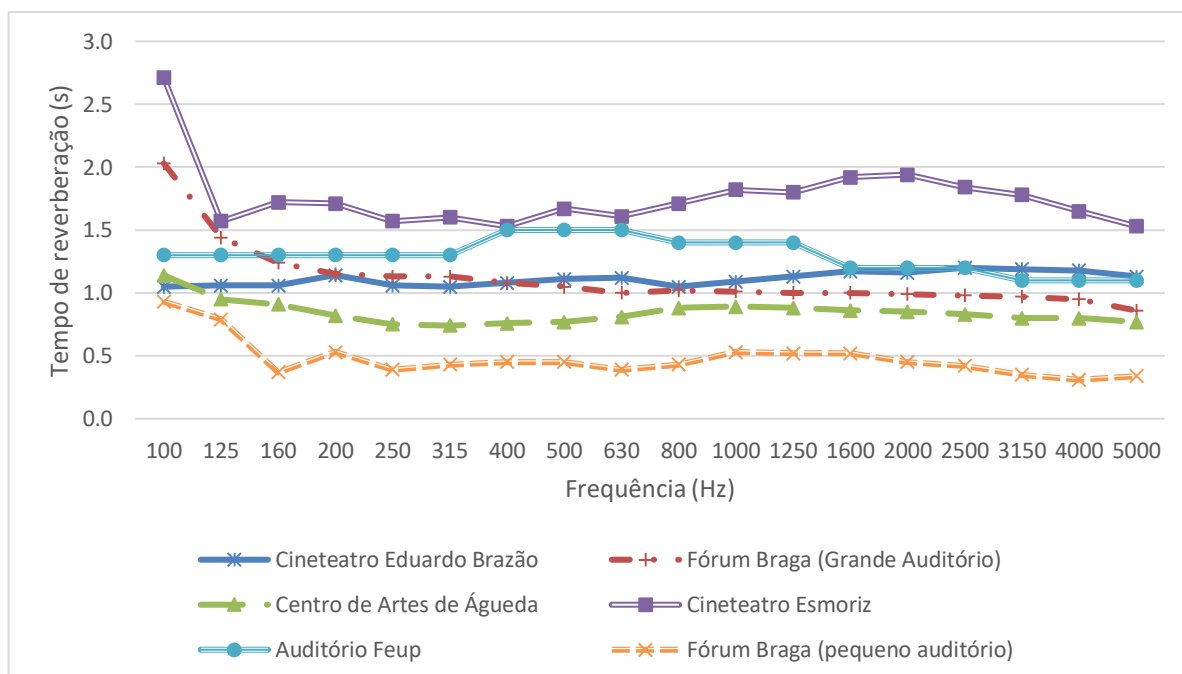




Figura 5.8 – Comparação do tempo de reverberação médio para as bandas de frequência de 1/1 oitava entre os 500 e os 2.000 Hz tendo em conta o volume das salas. [26][55][56][57]

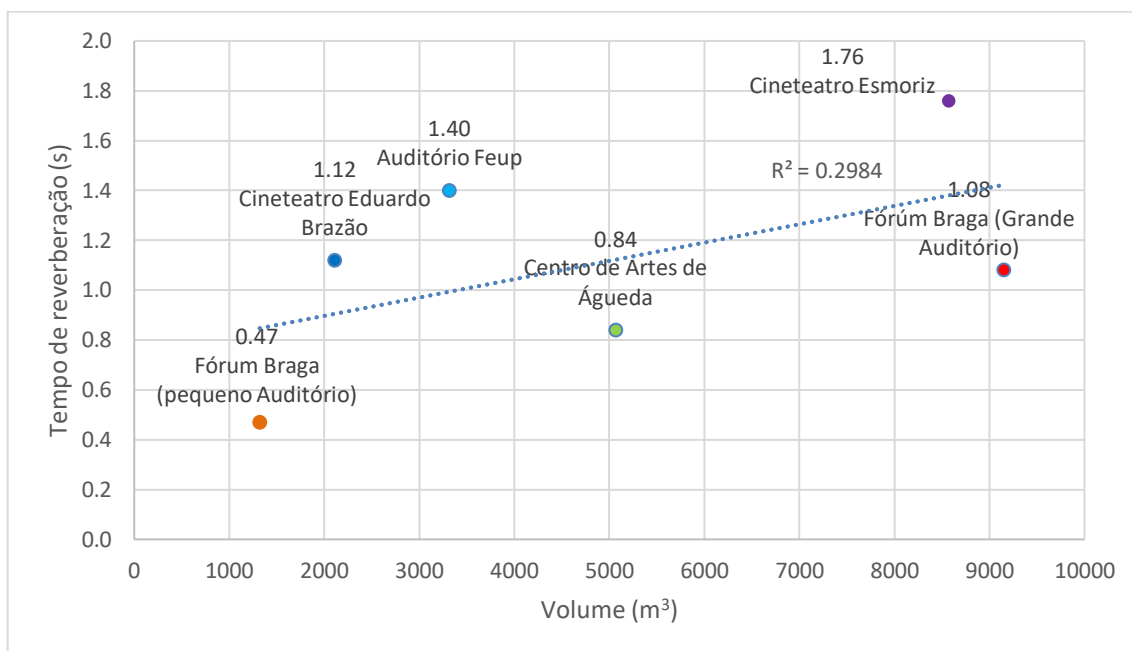
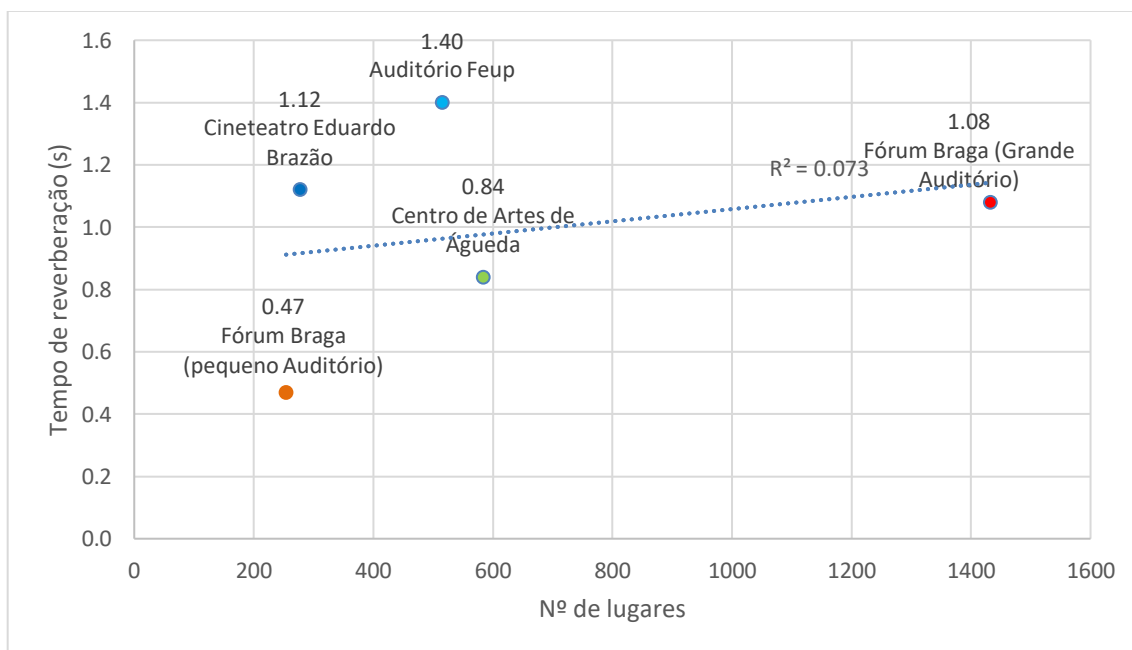


Figura 5.9 – Comparação do tempo de reverberação médio para as bandas de frequência de 1/1 oitava entre os 500 e os 2.000 Hz tendo em conta o número de lugares de cada sala. [26][56][57]



### 5.6.3 RUÍDO DE FUNDO

Nas figuras 5.10 e 5.11, é feita a comparação dos valores médios das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo com outros tipos de sala com o AVAC desligado e ligado respetivamente.

É importante salientar, que as medições no auditório FEUP foram realizadas para as bandas de frequência de 16 aos 16.000 Hz e que no caso do grande auditório do fórum Braga foram realizadas para as bandas de frequência dos 100 aos 5.000 Hz.

Pela análise da figura 5.8, quando o AVAC se encontra ligado, pode ser observado que o maior nível de pressão sonora do ruído de fundo médio acontece para o auditório FEUP quando este têm o segundo sistema AVAC ligado sendo que o seu  $L_{aeq}$  ultrapassa aquele estipulado no RRAE.

Comparando agora o cineteatro Eduardo Brazão as outras duas salas como se pode observar o seu valor do nível de pressão sonora do ruído de fundo médio é bastante superior, isto pode-se dever ao facto da sala poder ter sido dimensionada tendo em conta o limite regulamentar para cinemas enquanto as outras duas foram dimensionadas tendo em conta o limite regulamentar para as restantes salas.

Figura 5.10 – Valores médios das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) nas salas de espetáculos por bandas de frequência de terço de oitava (Hz), dos 12,5 aos 8.000 Hz, com o AVAC desligado. [26][56][57]

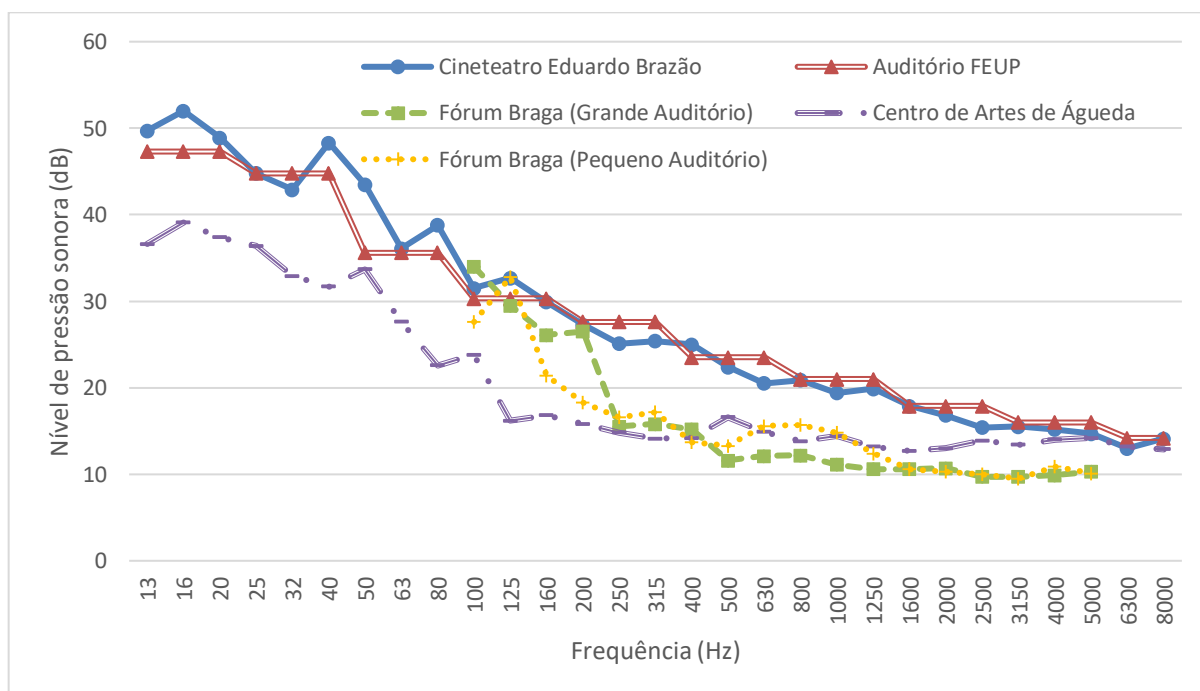
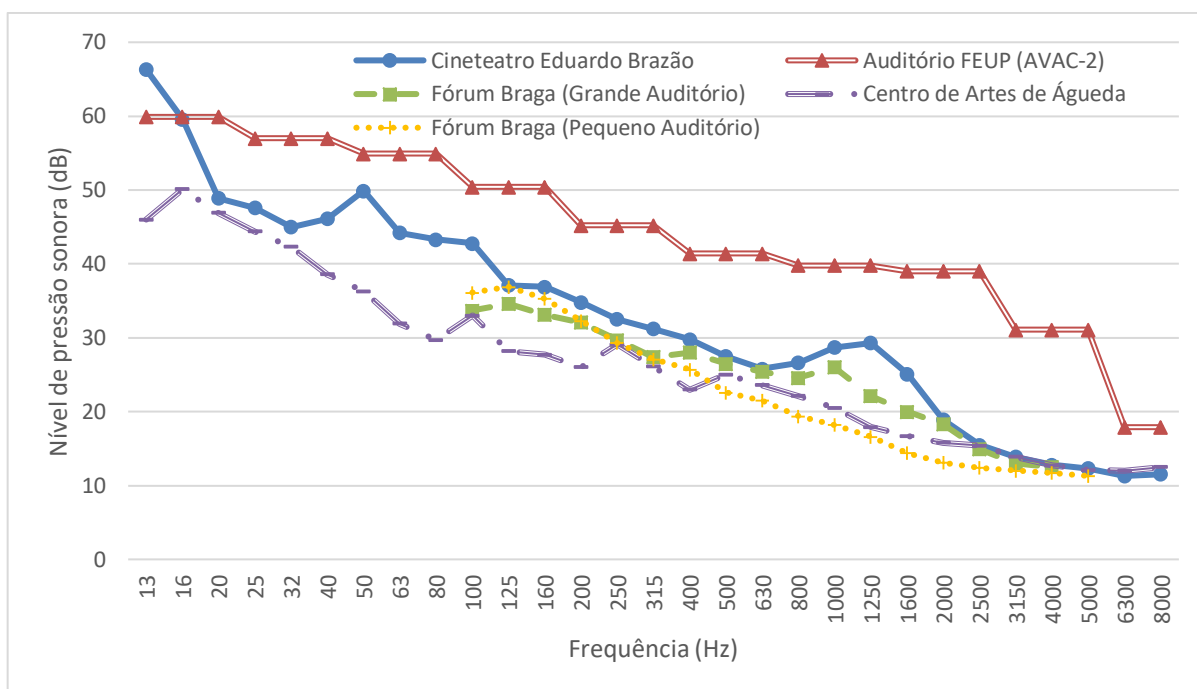


Figura 5.11 – Valores médios das medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB) nas salas de espetáculos por bandas de frequência de terço de oitava (Hz), dos 12,5 aos 8.000 Hz, com o AVAC ligado. [26][56][57]



#### 5.6.4 RASTI

O valor do parâmetro RASTI pode ser afetado por diferentes fatores como por exemplo:

- O maior nível de pressão sonora do ruído de fundo pode tornar difícil a perceptibilidade do discurso, na figura 5.12, é avaliada a forma como a média energética do  $L_{Aeq}$  afeta o valor do parâmetro RASTI
- Um maior tempo de reverberação também pode dificultar a clareza com a qual é perceptível o discurso e como tal causar menores valores do parâmetro RASTI, na figura 5.13, pode-se observar como o tempo de reverberação médio de cada uma das salas pode variar o valor do RASTI.
- Por último na figura 5.14 é avaliada de que forma o volume da sala pode causar diferentes valores para o parâmetro do RASTI.

Pela análise da figura 5.12, pode-se concluir que na maior parte dos casos um maior ruído de fundo corresponde a um menor valor do parâmetro RASTI, o valor de  $R^2$  (0,45) também já é considerado razoável o que confirma uma relação entre os dois parâmetros medidos.

Na figura 5.13, é estabelecida uma relação de quase proporcionalidade direta entre o valor do parâmetro RASTI e o tempo de reverberação médio com um valor de  $R^2$  (0,83) que já é um valor bastante elevado, ou seja, para um menor tempo de reverberação equivale um maior valor de RASTI.

Por último na figura 5.14, é possível observar que um menor volume da sala não implica, em todos os casos, um maior valor do parâmetro RASTI.

Relativamente ao Cineteatro Eduardo Brazão por estas comparações pode-se concluir que apesar de cumprir com um valor do RASTI suficiente deixa em comparação com as outras salas em análise bastante a desejar.

Figura 5.12 – Comparação do valor médio do parâmetro RASTI em cada uma das salas tendo em conta a média energética do  $L_{Aeq}$ . [26][56][57]

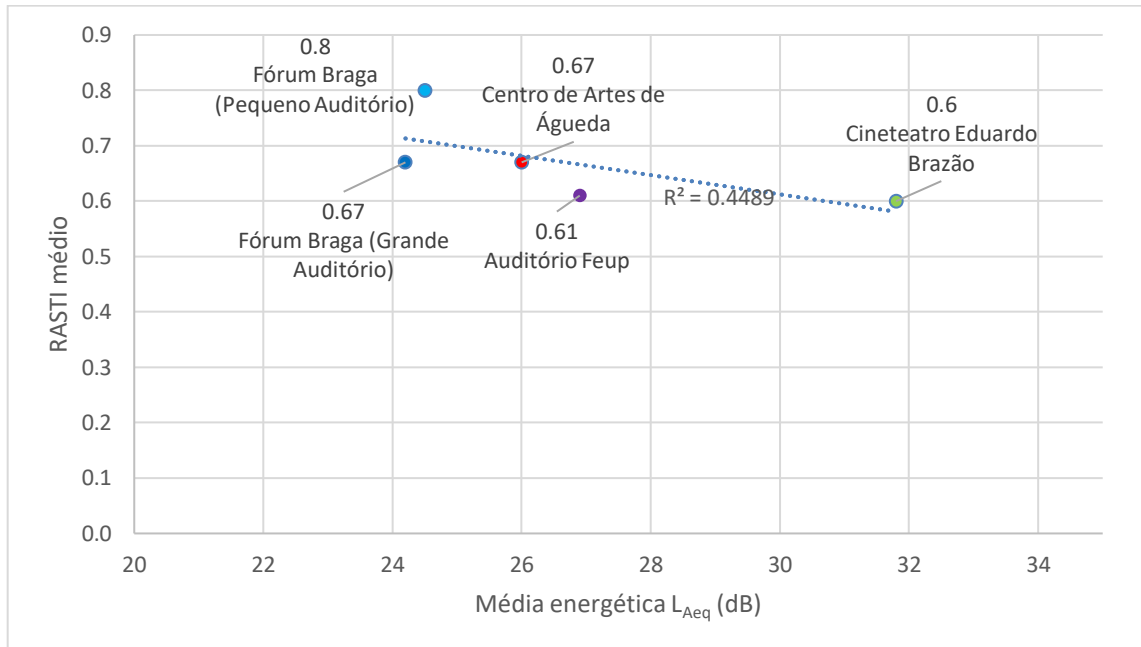


Figura 5.13 – Comparação do valor médio do parâmetro RASTI em cada uma das salas tendo em conta o tempo de reverberação médio. [26][56][57]

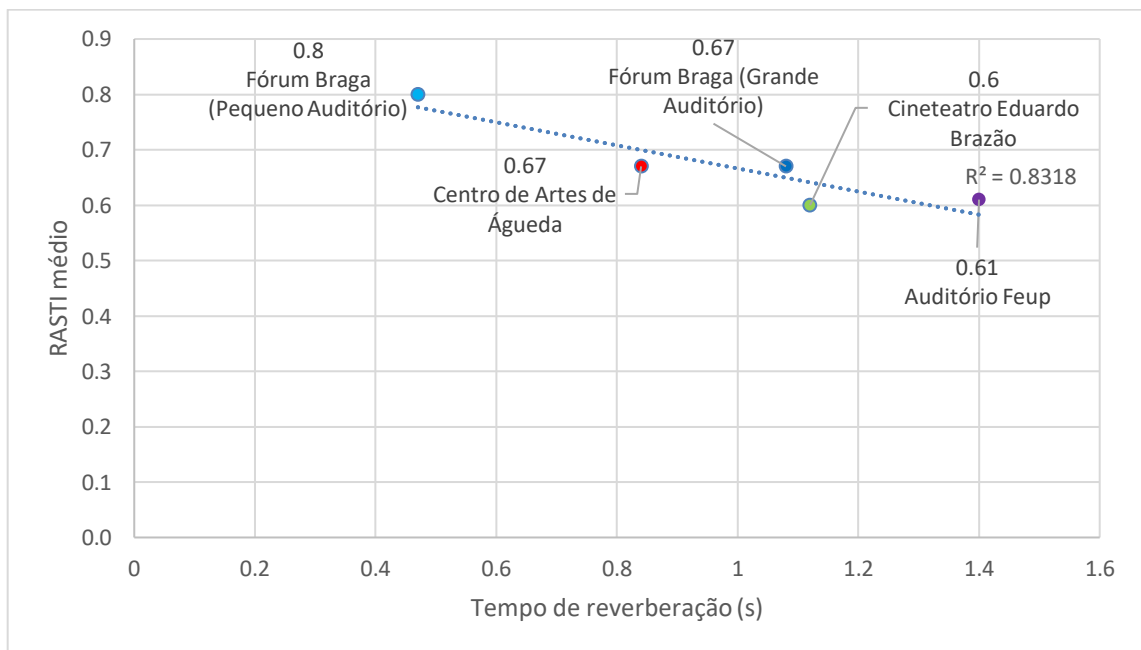
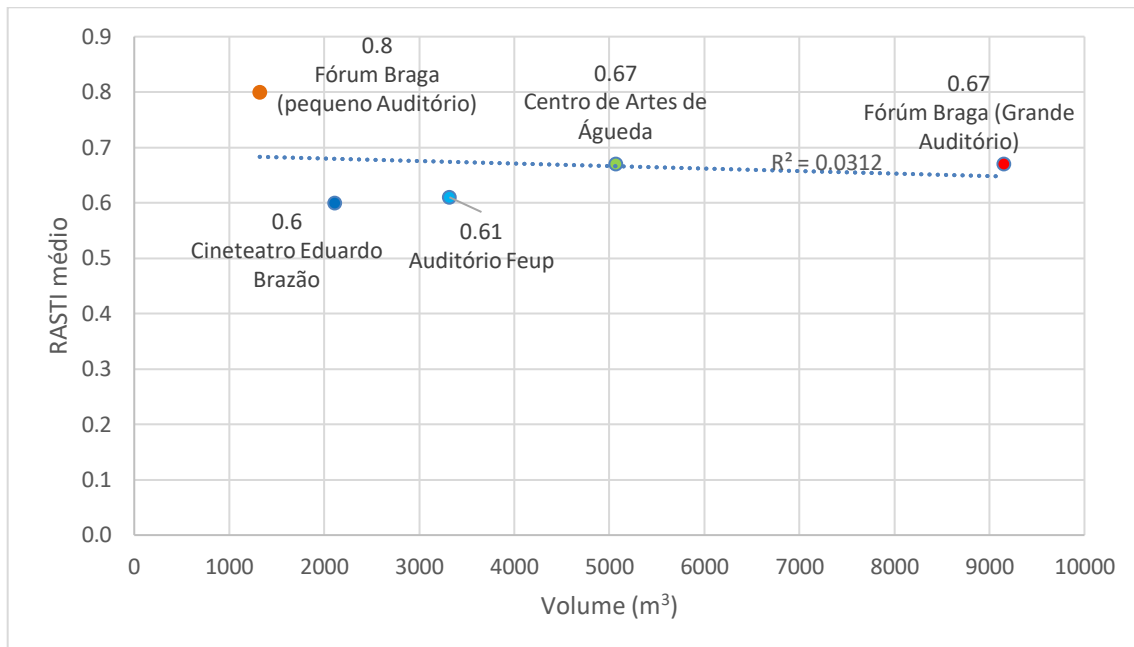


Figura 5.14 – Comparação do valor médio do parâmetro RASTI em cada uma das salas tendo em conta o volume das salas (m<sup>3</sup>). [26] [56] [57]





# 6

## CONCLUSÃO

### 6.1. CONCLUSÕES

A acústica é uma área onde ainda há muito para explorar sendo que está tem vindo a ganhar cada vez mais um foco na “ribalta” aquando da projeção de edifícios, hoje em dia é impensável realizar uma obra sem um projeto de acústica algo que à uns anos nem existia.

Hoje em dia, é cada vez mais responsabilidade das pessoas preservar as heranças que lhes são passadas, os cineteatros são uma delas que cada vez mais caem em desuso como tal é necessário aquando da intervenção nos mesmos realizar uma reabilitação que permita ao utilizador um certo conforto não só térmico como acústico.

O estudo do Cineteatro Eduardo Brazão foi um passo em frente para perceber quais as necessidades acústicas deste tipo de espaços e como melhor adaptar uma sala para dois usos diferentes e tendo em conta a programação do CTEB existe até mais do que cinema e teatro.

Este caso prático, também serviu para demonstrar que em edifícios já existentes não se pode ter em conta a acústica numa fase de planeamento do projeto, mas que mesmo assim é preciso arranjar formas de intervir na reabilitação destes edifícios mais antigos onde a acústica foi por muitas vezes ignorada.

Esta dissertação foi escrita com a intenção de caracterizar o cineteatro Eduardo Brazão através de ensaios acústicos realizados no local e muito simples.

Neste estudo foram avaliados então três parâmetros: o tempo de reverberação, o RASTI e os níveis de pressão sonora do ruído de fundo. A partir destes três parâmetros, foi calculado o tempo de reverberação aproximado para a sala de espetáculos quando esta se encontrava completamente lotada e ainda as curvas de incomodidade NC e NR.

Os resultados obtidos para esses parâmetros acústicos foram então depois comparados, com os limites legais apresentados no RRAE e com valores ideais propostos por outros autores estas comparações serviram para verificar se os resultados eram satisfatórios para cada um dos parâmetros medidos e para fazer uma avaliação geral a nível acústico da sala.

No quadro 6.1 podemos observar um resumo dos principais parâmetros acústicos da sala de espetáculos do CTEB e a sua avaliação.

Quadro 6.1 – Resumo dos parâmetros acústicos do CTEB

Parâmetro	Valor	Valor (com a Incerteza associada)	Valor ideal	Cumprimento	
TR [500, 1.000, 2.000 Hz] (s) sala vazia	1,12	0,73	0,8 – 1.0 (Para cinema)	Aceitável	
TR [500, 1.000, 2.000 Hz] (s) sala “lotada” valor previsto	1,02	0,66	0,7 – 0,9 (Para teatro)	Aceitável	
L <sub>Aeq</sub> (dB)	AVAC desligado	31,8	≤ 30 (pelo RRAE)	Adequada	
	AVAC ligado	37,2		Não adequada	
NC	AVAC ligado	28	–	≤ 30	Adequada
NR	AVAC ligado	28		≤ 25	Não adequada
RASTI médio	0,60	–	≥ 0,60	Adequada	

## 6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Durante o trabalho, surgiram algumas ideias as quais não poderão ser realizadas, pelo que seria interessante no futuro, serem desenvolvidos trabalhos que abordem os temas:

- Inquéritos de qualidade sonora aos utilizadores da sala de espetáculos de forma a medir os parâmetros acústicos subjetivos para confirmar os resultados obtidos nos parâmetros acústicos objetivos e para tentar estabelecer relações entre parâmetros objetivos e subjetivos;
- Um estudo aprofundado a procura da origem do ruído que se verifica junto à entrada do balcão quando o sistema AVAC se encontrava ligado e procurar possíveis soluções para eliminar esse ruído de forma a melhorar a qualidade acústica da sala;
- Medição de outros parâmetros acústicos como por exemplo o C<sub>80</sub>, o D<sub>50</sub> e o EDT;
- Um estudo de como a utilização de acústica variável poderia conciliar na sala de espetáculos do CTEB não só o cinema e o teatro como a música.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. P. O. Carvalho, Acústica Ambiental e de Edifícios, FEUP, 2022.
- [2] John Gibson, Introduction to Acoustics (<https://cecm.indiana.edu/361/acoustics.html>), Indiana University Bloomington, acessado em 21 de outubro de 2022.
- [3] Marshall Williams, Fundamentals of Acoustics: Sound Pressure, Sound Power and Sound Intensity (<https://onscale.com/blog/fundamentals-of-acoustics-sound-pressure-sound-power-and-sound-intensity>), 26 de janeiro de 2021, acessado em 21 de outubro de 2022.
- [4] António de Oliveira, Ruído Laboral: Parâmetros de Descrição do Som, acessado em 21 de outubro de 2022.
- [5] Ouvido Humano | Externo, Interno e Médio | Anatomia e Função | Resumo, <https://www.anatomiaemfoco.com.br/aparelho-auditivo-audicao/ouvido-humano-anatomia/>, acessado em 21 de outubro 2022.
- [6] Frequências ouvidas pelo ouvido humano e por alguns outros mamíferos, <http://www.cochlea.org/po/som/campo-auditivo-humano>, acessado em 23 de outubro de 2022.
- [7] Bruel & Kjaer, Measuring Sound (<https://www.bksv.com/media/doc/br0047.pdf>), Dinamarca, acessado em 23 de outubro de 2022.
- [8] Soluções de isolamento acústico, <https://www.imperialum.com/solucoes-imperialum-2/solucoes-de-isolamento-acustico/bandas-de-frequencia/>, acessado em 23 de outubro de 2022.
- [9] Conceitos básicos da acústica – PARTE II, <http://portalacustica.info/conceitos-basicos-da-acustica-parte-ii/>, acessado em 23 de outubro de 2022.
- [10] Sasha Santhakumar, Everything you need to know about pink noise, white noise, and sonic hues (<https://www.medicalnewstoday.com/articles/pink-noise-vs-white-noise>), 10 abril de 2022, acessado em 23 de outubro de 2022.
- [11] Sound production, <https://www.britannica.com/science/sound-production>, acessado em 23 de outubro de 2022.
- [12] M. Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design, 2ª ed., Spon Press, Taylor & Francis, 2010.
- [13] Pladur | algiss (<https://corporativo.pladur.com/pt-pt/solucoes/absorcao-acustica/>), acessado em 24 de outubro de 2022.
- [14] An illustration of a reverberation chamber, [https://www.researchgate.net/figure/An-illustration-of-a-reverberation-chamber\\_fig1\\_260521289](https://www.researchgate.net/figure/An-illustration-of-a-reverberation-chamber_fig1_260521289), acessado em 29 de outubro de 2022.
- [15] Esquema geométrico do tubo de impedância aplicando o método de função de transferência, [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Esquema-geometrico-do-tubo-de-impedancia-aplicando-o-metodo-de-funcao-de\\_fig1\\_300536602](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Esquema-geometrico-do-tubo-de-impedancia-aplicando-o-metodo-de-funcao-de_fig1_300536602), acessado em 29 de outubro de 2022.
- [16] Medição do tempo de reverberação, <https://www.nti-audio.com/pt/aplicacoes/acustica-de-salas-e-edificios/tempo-de-reverberacao-medicao>, acessado em 07 de novembro de 2022.
- [17] Speech intelligibility and speech intelligibility goals, [https://www.troldtekt.com/product-properties/good-acoustics/advanced\\_acoustics/speech-intelligibility-and-speech-intelligibility-goals/](https://www.troldtekt.com/product-properties/good-acoustics/advanced_acoustics/speech-intelligibility-and-speech-intelligibility-goals/), acessado em 07 de novembro de 2022.

- [18] William J.Cavanaugh,Gregory C.Tocci and Joseph A. Wilkes, Architectural Acoustics: Principles and Practice, 2nd Edition, 2009.
- [19] Ana Ferreira, Soluções Técnicas para Isolamento Sonoro de Edifícios de Habitação, Dissertação de mestrado, Instituto superior técnico de lisboa, 2007.
- [20] Revestimento nexacustic squares, <https://sonex.com.br/produtos/revestimento-nexacustic-580/>, acedido em 11 de novembro de 2022.
- [21] Luís L. Henrique, Acústica Musical, 2ª Edição revista e actualizada., Fundação Calouste Gulbenkian, 2002
- [22] Articulation Index, <https://community.sw.siemens.com/s/article/articulation-index>, acedido em 11 de novembro de 2022.
- [23] Michael Bifulco, Sound Metrics: Speech Interference Level, 13 de dezembro de 2021, [https://www.linkedin.com/pulse/sound-metrics-speech-interference-level-michael-bifulco?trk=pulse-article\\_more-articles\\_related-content-card](https://www.linkedin.com/pulse/sound-metrics-speech-interference-level-michael-bifulco?trk=pulse-article_more-articles_related-content-card), acedido em 11 de novembro de 2022.
- [24] Sofia Barbosa, Caracterização Acústica do Museu Municipal Abade Pedrosa, dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia do Porto, 2022.
- [25] António Costa, Caracterização Acústica de Bibliotecas em Portugal e Análise de Influência na Reabilitação Acústica, dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia do Porto, 2022.
- [26] Gil Rocha, caraterização acústica do centro de congressos do altice fórum braga, dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia do Porto, 2022.
- [27] NR- The Noise Rating Curve,[https://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d\\_60.html](https://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d_60.html), acedido em 11 de novembro de 2022.
- [28] Ana Geraldo, Novos usos dos Cine Teatros Proposta de reabilitação em Alcácer do Sal, dissertação de mestrado, Universidade da Beira interior, 2018.
- [29] Maria Freitas, Teatros e cineteatros municipais – uma reflexão sobre políticas, redes e equipamentos, dissertação de mestrado, Instituto universitário de Lisboa, 2016.
- [30] José António Bandeirinha, Keil do Amaral: Obras de Arquitetura na Beira: Regionalismo e Modernidade, Argumentum, Lisboa, 2010.
- [31] Irmãos Lumière, <https://knoow.net/arteseletras/cinamateatro/irmaos-lumiere/>, acedido em 21 de novembro de 2022.
- [32] Cinematógrafo, <https://pt.wikipedia.org/wiki/Cinemat%C3%B3grafo>, acedido em 21 de novembro de 2022.
- [33] Cinema Ideal, <https://restosdecoleccion.blogspot.com/2015/09/cinema-ideal.html?m=1>, acedido em 21 de novembro de 2022.
- [34] Rede de Teatros e Cineteatros Portugueses, <https://www.rtcp.pt/pt/sobre/o-que-e/>, acedido em 21 de novembro de 2022.
- [35] Cultura – Direção-Geral das Artes, Diário da República n.º 208/2021, Série II, páginas 84 - 85, de 26 de outubro de 2021.

- [36] Marshall Long, *Architectural Acoustics – 2ª Edição*, Academic Press, 2014.
- [37] W. C. Sabine, *Collected papers on acoustics*, Cambridge Harvard University Press, 1922.
- [38] M. Barron, *Auditorium Acoustics and Architectural Design*, Spon Press, 2010.
- [39] *Architectural Acoustics*, <https://www.elsevier.com/books/architectural-acoustics/long/978-0-12-398258-2>, acessado em 23 de novembro de 2022.
- [40] Os 3 maiores segredos do projeto acústico de auditórios, <https://www.youtube.com/watch?v=Eh6S44fYznQ>, acessado em 23 de novembro de 2022.
- [41] Hélder Gonçalves, *A acústica de museus modernos. Estudo de caso o museu de Serralves (porto)*, dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de engenharia do Porto, 2012.
- [42] Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, [https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei\\_mostra\\_articulado.php?nid=3106&tabela=leis&so\\_miolo=](https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=3106&tabela=leis&so_miolo=), acessado a 23 de novembro de 2022.
- [43] Antoni Carrión, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Edicions UPC, Barcelona, 1998.
- [44] Cineteatro Eduardo Brazão, <https://www.google.pt/maps/@41.098984,-8.630115,18.25z?hl=pt-PT>, acessado a 11 de dezembro de 2022.
- [45] Ficha Técnica Cineteatro Eduardo Brazão, [https://www.cm-gaia.pt/fotos/editor2/cultura/2022/rider\\_tecnico\\_cine\\_teatro\\_eduardo\\_brazao.pdf](https://www.cm-gaia.pt/fotos/editor2/cultura/2022/rider_tecnico_cine_teatro_eduardo_brazao.pdf), acessado a 11 de dezembro de 2022.
- [46] Eduardo Brasão, [https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$eduardo-brasao](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$eduardo-brasao), acessado a 11 de dezembro de 2022.
- [47] Eduardo Brazão, [https://pt.wikipedia.org/wiki/Eduardo\\_Braz%C3%A3o](https://pt.wikipedia.org/wiki/Eduardo_Braz%C3%A3o), acessado a 11 de dezembro de 2022.
- [48] Joaquim Massena Arquitetos, <https://joaquimmassena.com/index-2.html>, acessado a 11 de dezembro de 2022.
- [49] InAcoustics – Engenharia Acústica, Vibrações e Ambiente, Lda. <https://www.portugalbusinessontheway.com/inacoustics/>, acessado a 11 de dezembro de 2022.
- [50] Plantas fornecidas pela InAcoustics, a 14 de novembro de 2022.
- [51] A Casa da Música celebra 15 anos e a festa faz-se na internet, <https://visao.sapo.pt/visaose7e/ver/2020-04-15-a-casa-da-musica-celebra-15-anos-e-a-festa-faz-se-na-internet/>, acessado a 14 de dezembro de 2022.
- [52] Teatro Municipal de Bragança, <https://www.e-cultura.pt/artigo/27868>, acessado a 14 de dezembro de 2022.
- [53] Royal Albert Hall, <https://www.royalalberthall.com/>, acessado a 14 de dezembro de 2022.
- [54] Transmissão Sonora Aérea e Acústica de Edificações, [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4456652/mod\\_resource/content/0/07%20-%20Transmiss%C3%A3o%20Sonora%20A%C3%A9rea%20e%20Ac%C3%BAstica%20de%20Edifica%C3%A7%C3%B5es.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4456652/mod_resource/content/0/07%20-%20Transmiss%C3%A3o%20Sonora%20A%C3%A9rea%20e%20Ac%C3%BAstica%20de%20Edifica%C3%A7%C3%B5es.pdf), acessado a 22 de dezembro de 2022.
- [55] Rui Silva, *Análise Acústica na Reabilitação do Cineteatro Esmoriz*, dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia do Porto, 2020.

- [56] Helena Abelha, *Caracterização Acústica do Centro de Artes de Águeda*, dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia do Porto, 2022.
- [57] Sofia Barbosa, *Caracterização Acústica de Grandes Auditórios O caso do auditório da FEUP*, dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia do Porto, 2012.