

METODOLOGIA MULTI-CRITÉRIO PARA ANÁLISE DA QUALIDADE ACÚSTICA EM SALAS DE AUDIÊNCIA DE TRIBUNAIS

DIANA DE ALMEIDA VIDAL

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

JULHO 2008

A meus Pais

Uma pessoa inteligente resolve um problema, um sábio o previne

Albert Einstein

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ 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

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo 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 electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

AGRADECIMENTOS

Queria expressar os meus agradecimentos em primeiro lugar ao Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho pela sua orientação, seus ensinamentos, e pela disponibilidade e ajuda que dedicou no decorrer deste meu estudo.

Queria também agradecer ao meu namorado, amigos e familiares que, apesar de indirectamente, também me apoiaram muito.

RESUMO

O âmbito do trabalho desenvolvido é a acústica as salas de audiências de tribunais, caracterizadas como salas destinadas à palavra, com características de inteligibilidade bidireccional.

O objectivo deste trabalho é avaliar e comparar objectivamente uma amostra de salas de audiências de tribunais, através de um algoritmo de análise multi-critério, usando um conjunto de parâmetros acústicos adequados para caracterização dos aspectos mais significativos da acústica destes locais. Os parâmetros usados foram os seguintes: tempo de reverberação (T_R), índices de isolamento a sons de condução aérea ($D_{n,w}$ e $D_{2m,n,w}$) e $RASTI$. Todos eles foram relacionados de modo a obter um único Parâmetro Global de Análise Acústica por sala, o $PGAA$.

Da amostra de salas analisada, a sala que obteve o menor valor do $PGAA$ foi a sala 1 da comarca da Covilhã com um valor de 3, numa escala de 0 a 20 valores. Por outro lado, o valor máximo obtido foi de 15 valores, que correspondeu às comarcas de Gouveia e Oliveira de Frades. A média global dos P.G.A.A. é de 11,2.

PALAVRAS-CHAVE: multi-critério, acústica, tribunais, isolamento sonoro, reverberação.

ABSTRACT

The focus of this work are the Courtrooms, which are acoustically characterized as rooms in which the intelligibility of speech is mostly bi-directional.

The goal of this work is to evaluate acoustically and in an objective way a selection of courtrooms in Portugal, by applying a multi-criteria algorithm, using the most influent acoustic parameters that characterize a room designed for the use of speech. The parameters that were used on this study are the following ones: Reverberation time R_T , Airborne sound isolation indexes $D_{n,w}$ and $D_{2m,n,w}$, and $RASTI$. All of the referred acoustic parameters where related to each other in order to obtain an unique index of evaluation: *GIAE* (global index of acoustic evaluation).

The worst graded courtroom was the first room of Covilhã Courthouse, which obtained a grade of 3 points, in a scale of 0-20. On the other side, the following rooms were the best graded ones, which obtained 15points: Gouveia and Oliveira de Frades. The average of the *GIAE* was 11,2.

KEYWORDS: multi-criteria, acoustics, courtrooms, airborne sound isolation, reverberation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. OBJECTIVOS E DESCRIÇÃO DO TRABALHO.....1

2. ELEMENTOS BASE DE ACÚSTICA3

2.1. OBJECTIVOS DE UMA SALA PARA A PALAVRA	3
2.2. INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA	3
2.3. CARACTERÍSTICAS DO SOM NUM ESPAÇO FECHADO	5
2.4. ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA	9
1.1. PRIMEIRO NÍVEL DE SUBTÍTULOS	1

3. O MÉTODO MULTI-CRITÉRIO.....11

3.1. INTRODUÇÃO	11
3.2. DECISÃO MULTI-CRITÉRIO DISCRETA – CASO DETERMINÍSTICO	12
3.2.1. CONCEITOS E CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS	13
3.2.1.1. Conceitos	13
3.2.1.2. Considerações teóricas.....	14
3.2.2. MODELO GERAL DO PROBLEMA	15
3.2.3. PRINCIPAIS ETAPAS DO MÉTODO	16
3.2.4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO	19
3.2. O MULTI-CRITÉRIO COMO UM MÉTODO DE ANÁLISE E COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS DE SALAS DE AUDIÊNCIAS DE TRIBUNAIS.....	23
3.3. CONSIDERAÇÕES FEITAS NA APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTI-CRITÉRIO.....	24
3.2.1. FUNÇÕES DE VALOR.....	24
3.5.2. COMPOSIÇÃO NO PARÂMETRO <i>RASTI</i>	32
3.5.2. COMPOSIÇÃO NO PARÂMETRO ÍNDICES DE ISOLAMENTO SONORO A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA NORMALIZADOS $D_{n,w}$ E $D_{2m,n,w}$	33
3.5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MULTI-CRITÉRIO NESTE ESTUDO	34

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO	37
4.1. INTRODUÇÃO	37
4.2. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	37
4.3. PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS	45
4.4. PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJECTIVOS	47
4.5. ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA	51
 5. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTI-CRITÉRIO À AMOSTRA	 53
 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES	 61
 7. PISTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	 73
 8. BIBLIOGRAFIA	 75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Percentagem de articulação silábica em função do tempo de reverberação para diferentes volumes de recintos: a) 700 m ³ ; b) 2.800 m ³ ; c) 11.300 m ³ e d) 22.600 m ³ [1]	4
Figura 2.2 - Inteligibilidade da palavra (percentagem de sílabas entendidas) em função do nível de intensidade sonora da palavra e do nível de intensidade sonora do ruído de fundo. [1]	5
Fig. 2.3 – Ondas sonoras num espaço aberto.	6
Figura 2.4 – Ondas sonoras directas e reflectidas nas superfícies interiores de um recinto [1].	7
Figura 2.5 – Diagrama de chegada das ondas directas e reflectidas ao receptor [1].	7
Figura 2.6 - Relação do tempo de reverberação com o volume, a frequências médias, para recintos considerados bons acusticamente, em que: 1) igrejas; 2) salas de concerto para orquestras; 3) salas de concerto para música ligeira; 4) estúdios de concerto; 5) salas de dança; 6) teatros de ópera; 7) auditórios para a palavra; 8) cinemas e salas de conferência; 9) estúdios de televisão; 10) estúdios de rádio [2].	8
Figura 3.1- Relação binária B [3].	14
Figura 3.1 - Correspondência das alternativas no espaço de consequências [4]	16
Fig. 3.2 - Árvore de atributos para o problema de localização de restaurante.	20
Figura 3.3 – Gráfico da Função de valor para o critério <i>Proximidade ao centro</i>	21
Fig. 3.4 – Gráfico da Função de valor para o critério <i>Área</i>	22
Figura 4.1 – Localização de cada uma das salas da amostra em relação ao País [5].	38
Figura 4.2 – Localização de cada uma das salas da amostra em relação à região [5]	38
Fig 4.3 – Sala de audiência do tribunal de vouzela [5].	43
Fig 4.4 – Sala de audiência do tribunal de Celorico da Beira [5].	43
Fig 4.5 - Sala de audiência do tribunal de Covilhã [5].	44
Fig 4.6 - Sala de audiência do tribunal de Seia [5].	44
Figura 4.7 - Posicionamento da fonte sonora e respectivos pontos de medição para avaliação do parâmetro acústico TR [5].	48
Figura 4.8 - Posicionamento da fonte sonora e respectivos pontos de medição para avaliação do parâmetro $RASTI_J$ [5].	48
Figura 4.9 - Posicionamento da fonte sonora e respectivos pontos de medição para avaliação do parâmetro $RASTI_R$ [5].	49
Figura 4.10 - Avaliação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede de separação com o átrio de entrada, normalizado, posicionamento da fonte sonora e respectivos doze pontos de medição [5].	51
Figura 5.1 - Histograma dos valores de $PGAA$	54
Figura 5.2 - Histograma dos valores de C_{TR}	55
Figura 5.3 - Histograma dos valores de $C_{RASTI(J)}$	55

Figura 5.4 - Histograma dos valores de $C_{RASTI(R)}$	56
Figura 5.5 - Histograma dos valores de C_{RASTI}	56
Figura 5.6 - Histograma dos valores de $C_{Dn,w}$ (átrio)	57
Figura 6.1 – Sala de audiência da comarca da Covilhã (sala 1) [5].....	61
Figura 6.2 - Sala de audiência da comarca da Covilhã (sala 1) [5].....	62
Figura 6.3 – Melhor modelo de regressão entre os valores de V (m^3) e $PGAA$	67
Figura 6.4 – Melhor modelo de regressão entre os valores de H (m) e de $PGAA$	67
Figura 6.5 – Melhor modelo de regressão entre os valores de V (m^3) e de C_{RASTI} ..	68
Figura 6.6 – Melhor modelo de regressão entre os valores de H (m) e de C_{RASTI} ..	69
Figura 6.7 – Melhor modelo de regressão entre os valores de H (m) e de C_{TR}	69
Figura 6.8 – Melhor modelo de regressão entre os valores de $V(m^3)$ e de C_{TR}	70

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Diferentes técnicas de abordagem do método Multi-Critério.	12
Quadro 3.2 – Representação do problema multi-atributo discreto determinístico numa matriz.	18
Quadro 3.3 – Função de valor para o critério Aluguer.	20
Quadro 3.4 – Função de valor para o critério Electricidade e Água.	21
Quadro 3.5 – Função de valor para o critério Reabilitação e/ou Remodelação.	21
Quadro 3.6 – Função de valor para o critério Imagem.	22
Quadro 3.7 – Função de valor para o critério Lugares de estacionamento.	22
Quadro 3.8 – Pontuações das alternativas e pesos dos critérios de decisão para o problema da localização do restaurante.	23
Quadro nº 3.9 – Função de valor para o critério <i>Tempo de reverberação</i> (T_R).	28
Quadro nº 3.10 - Função de valor para o critério <i>RASTI</i>	29
Quadro nº 3.11 - Função de valor para o critério $D_{n,w}$ (salas contíguas).	30
Quadro nº 3.12 - Função de valor para o critério $D_{n,w}$ (átrio entrada).	31
Quadro nº 3.13 - Função de valor para o critério $D_{2m,n,w}$ (fachada).	32
Quadro 4.1 – Listagem e caracterização das salas de audiência [5].	39
Quadro 4.2 – Descrição resumida das salas de audiências estudadas [5].	40
Quadro 4.3 – Valores obtidos para os parâmetros arquitectónicos para cada sala [5].	46
Quadro 4.4 - Valores médios dos parâmetros acústicos medidos em cada sala de audiências [5]. ..	50
Quadro 4.5 - Valores do índice de isolamento sonoro a sons aéreos normalizado, D_{n,w_1} , da parede de separação entre a sala audiências e o átrio de entrada contíguo [5].	52
Quadro 5.1 – Quadro estatístico sumário dos valores de cada critério e de <i>PGAA</i>	54
Quadro 5.2 – Resultados da aplicação do método multi-critério à amostra de salas de audiências de tribunais.	58
Quadro 6.1 – Principais características arquitectónicas e de materiais da sala pior classificada: a_4 - Covilhã (sala 1).	63
Quadro 6.2 – Principais características arquitectónicas e de materiais da sala melhor classificada: a_{10} - Gouveia.	64
Quadro 6.3 – Principais características arquitectónicas e de materiais da sala melhor classificada: a_{15} – Oliveira de Frades.	65
Quadro 6.4 – Melhores modelos simples de regressão entre pares de parâmetros arquitectónicos e <i>PGAA</i> de cada sala de audiências.	66
Quadro 6.5 – Melhores modelos simples de regressão entre pares de parâmetros arquitectónicos e C_{RASTI} de cada sala de audiências.	68

Quadro 6.6 – Melhores modelos simples de regressão entre pares de parâmetros arquitectónicos e C_{TR} de cada sala de audiências.	69
Quadro 6.7 – Modelos gerais lineares.	70
Quadro 6.8 – Valores dos parâmetros acústicos que conduzem a valores de $PGAA$ ideais (20 valores) e bons (15 valores).	71

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

RASTI - rapid speech transmission index

STI - speech transmission index

T_R – tempo de reverberação (s)

V - volume (m^3)

A - área de absorção sonora total (m^2)

A – conjunto de alternativas

R - redução sonora (dB)

A_0 - área de absorção sonora equivalente de referência

MMC - método multi-critério

C –critério

a - alternativa

$D_{n,w}$ – índice de isolamento sonoro entre locais do edifício.

$D_{2m,n,w}$ - índice de isolamento sonoro entre o exterior do edifício e os compartimentos interiores deste.

1

OBJECTIVOS E DESCRIÇÃO DO TRABALHO

O objectivo principal deste trabalho é definir um algoritmo multi-critério para analisar e caracterizar o comportamento acústico de um tipo particular de espaço público: as salas de audiências de tribunais. Outros objectivos deste trabalho passam pela avaliação e comparação objectiva de uma amostra de salas de audiências de tribunais; ter a possibilidade de avaliar futuros projectos de acústica de recintos destinados à palavra através das considerações e do algoritmo determinados neste trabalho; e em geral o uso destes conhecimentos na actividade de projecto. Com este trabalho torna-se também possível e mais facilitada a avaliação de outras salas de audiências de tribunais já existentes. Este trabalho também tem como objectivo auxiliar a compreender a acústica de espaços fechados, mais especificamente aqueles destinados à palavra, e auxiliar na determinação dos factores que mais determinam o bom funcionamento acústico destas salas (tema não abrangido neste estudo, mas que se pode realizar através de trabalhos vindouros). O algoritmo de análise multi-critério determinado neste trabalho também pode ser útil na análise de salas de uso diferente, mas em que a predominância da palavra seja uma constante, como por exemplo salas de aulas.

Neste trabalho é feita uma análise, avaliação e comparação objectiva das características acústicas das salas de audiência de tribunais. É analisado um conjunto de parâmetros que se consideram determinantes para o conforto acústico destas salas. Estes parâmetros são relativos a uma série de salas e os dados necessários a este estudo foram retirados de um estudo de caracterização acústica de salas de audiências de tribunais, realizado anteriormente [1]. Determinados os parâmetros mais importantes para a caracterização acústica deste tipo de salas, procede-se à determinação de uma metodologia ou algoritmo de análise multi-critério relativo ao conforto acústico destes locais, onde os critérios são os referidos parâmetros. Após isto, é aplicado o método à amostra em questão, o que vai permitir avaliar e comparar objectivamente estas salas de audiências de tribunais, sob o ponto de vista da qualidade acústica.

Este trabalho está dividido por capítulos, que se passam a descrever: o 1º Capítulo é composto por uma breve introdução ao tema do trabalho, incluindo também os objectivos que se pretendem atingir com o mesmo; o 2º Capítulo apresenta todos os elementos base de acústica necessários a uma boa compreensão e análise do presente trabalho; no 3º Capítulo é dada uma abordagem do método multi-critério e a sua aplicabilidade neste estudo; quanto ao 4º Capítulo, apresentam-se as características da amostra e parâmetros da mesma; relativamente ao 5º Capítulo, são apresentados os resultados da aplicação deste método à amostra em questão; no 6º Capítulo é apresentada a discussão e comparação dos resultados; no 7º Capítulo são apresentadas as

conclusões e pistas para futuros trabalhos; finalmente no 8º e último capítulo estão presentes as referências bibliográficas utilizadas.

2

ELEMENTOS BASE DE ACÚSTICA

2.1. OBJECTIVOS DE UMA SALA PARA A PALAVRA

As características acústicas desejáveis numa sala para a palavra são as seguintes:

- Qualquer ruído, seja interno ou externo, deverá reduzir-se até níveis que não interfiram na audição da palavra;
- A forma e tamanho da sala deverão ter características tais que:
 - a) Proporcionem uma difusão sonora adequada na sala;
 - b) Forçarem o som a chegar à audiência, especialmente a audiência mais afastada;
 - c) Contribuírem para uma boa relação entre som directo/som reflectido para todos os ouvintes.
- A curva do tempo de reverberação em função da frequência deverá aproximar-se das características ideais.
- Deverá proporcionar-se o reforço necessário da palavra, de tal forma que o nível de intensidade sonora em todas as partes da sala seja o adequado.

Os parâmetros acústicos fundamentais na análise de um recinto destinado à palavra são diferentes daqueles analisados em salas de espectáculo, cinemas, igrejas, etc. Isto porque as salas destinadas essencialmente à escuta da palavra devem possuir, acima de tudo, boas características de inteligibilidade. Este é o objectivo principal a atingir, o que nem sempre é simples, pois a inteligibilidade depende de vários factores.

Nos subcapítulos seguintes descrevem-se os parâmetros e conceitos mais importantes para a análise acústica destas salas.

2.2. INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA

A inteligibilidade da palavra é a qualidade acústica mais importante numa sala destinada à palavra. A inteligibilidade da palavra é, por definição, a maior ou menor facilidade em entender

correctamente a palavra. Uma maneira possível de quantificar a inteligibilidade pode ser através da medida da percentagem de sílabas subjectivamente entendidas correctamente por um grupo de pessoas determinado, ditadas por um locutor que possua uma articulação clara, denominada *percentagem de articulação silábica (PAS)*.

Outro método de determinar a inteligibilidade da palavra, agora de forma objectiva, é um método denominado *RASTI (Rapid Speech Transmission Index)*, que tem como base a função de transferência de modulação (MTF), mediante a qual se pode obter a informação para a qual contribuem bandas de oitavas dos 500 Hz e 2000 Hz, em termos de relação sinal/ruído e em termos de tempo de decrescimento. Este método é um método simplificado de calcular o *STI (speech transmission index)* e consiste em utilizar um equipamento constituído por um emissor e um receptor. A inteligibilidade da palavra varia entre 0 (inteligibilidade nula) e 1 (ótima inteligibilidade).

A inteligibilidade da palavra depende de vários factores, entre os quais o tempo de reverberação da sala, o nível de intensidade sonora da palavra, ruído de fundo, distância ao locutor, etc.

A figura 2.1 mostra como varia a inteligibilidade da palavra, através da percentagem de articulação silábica, em função do tempo de reverberação, para diferentes volumes de recintos. A figura 2.2, mostra como a inteligibilidade é afectada pelo nível de intensidade sonora da palavra e pelo nível de intensidade sonora do ruído de fundo.

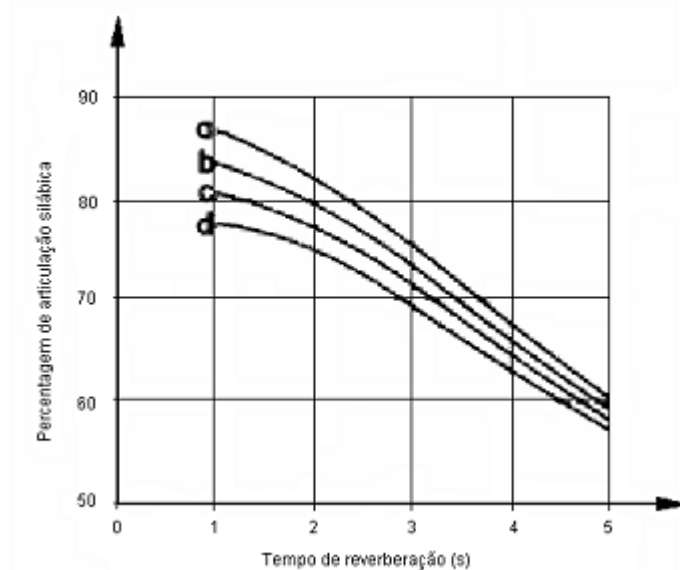


Figura 2.1 – Percentagem de articulação silábica em função do tempo de reverberação para diferentes volumes de recintos: a) 700 m³; b) 2.800 m³; c) 11.300 m³ e d) 22.600 m³ [1].

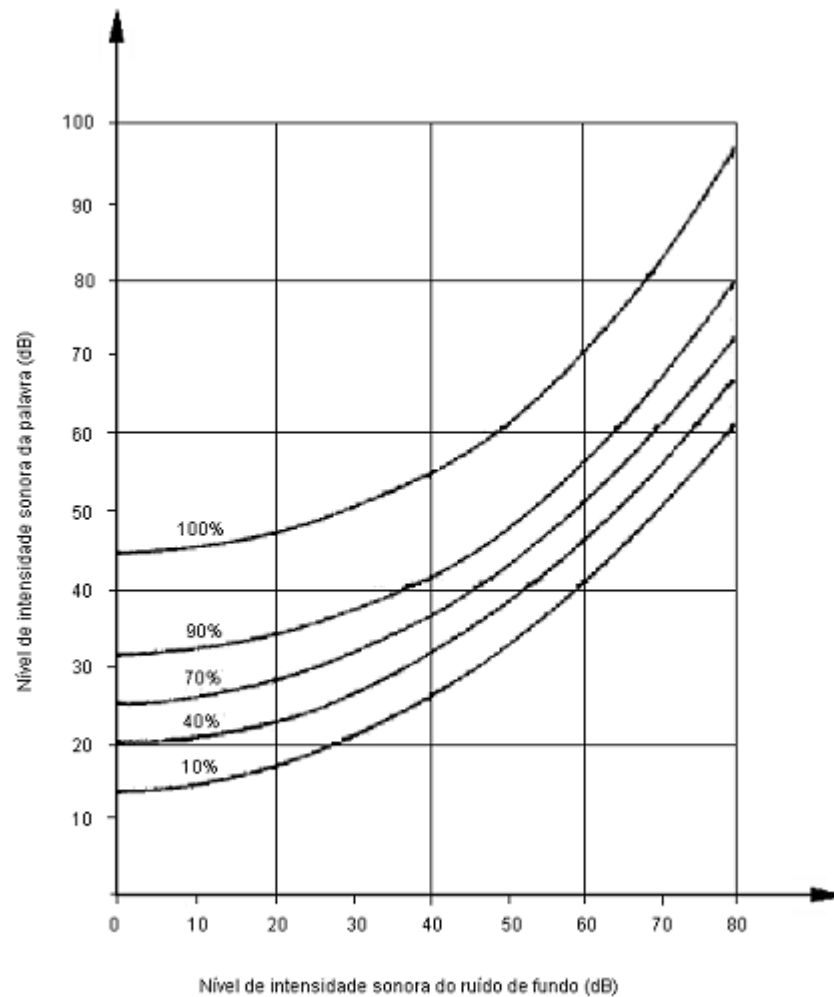


Figura 2.2 - Inteligibilidade da palavra (percentagem de sílabas entendidas) em função do nível de intensidade sonora da palavra e do nível de intensidade sonora do ruído de fundo. [1]

2.5 - CARACTERÍSTICAS DO SOM NUM ESPAÇO FECHADO

As vibrações de uma fonte sonora situada num espaço ilimitado originam perturbações na atmosfera que a rodeia, que em forma de variações de pressão propagam-se em todas as direcções, criando-se um campo acústico ao redor da mesma (Figura 2.3). Como não existem ondas reflectidas, as vibrações das partículas diminuem de amplitude à medida que a onda sonora se afasta da fonte.

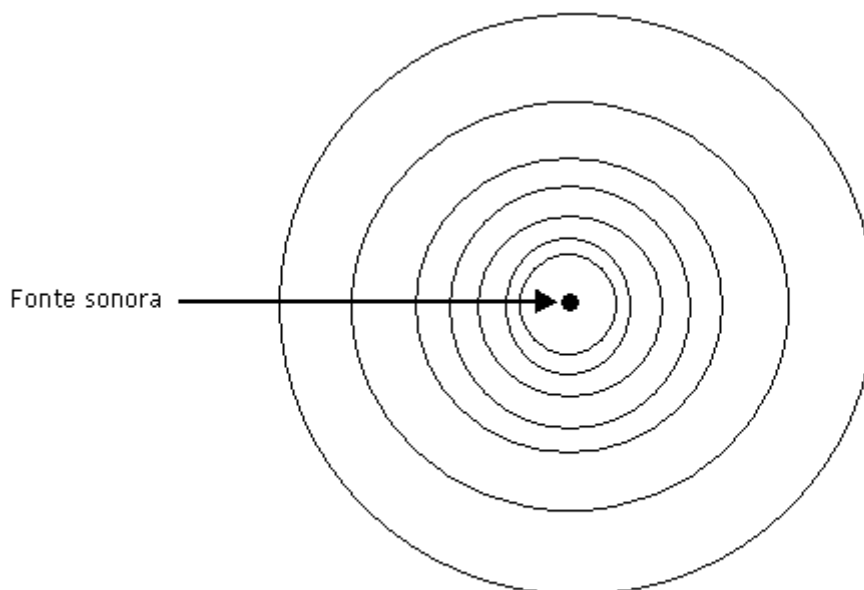


Fig. 2.3 – Ondas sonoras num espaço aberto.

A existência de superfícies limites, que rodeiam a fonte, mudam o carácter do campo acústico, pois o volume de ar existente entre essas superfícies não só está excitado enquanto a fonte sonora está em emissão, assim como continua num estado de vibração depois desta deixar de emitir, no caso de as superfícies serem constituídas por materiais não totalmente absorventes acusticamente. A estes espaços dá-se o nome de espaços reverberantes, ou “acusticamente vivos”. Quando a fonte sonora é desligada, as ondas sonoras reflectidas continuam a ser reflectidas continuamente até a energia estar toda absorvida nas envolventes e meio do recinto.

Esta maior ou menor persistência do som que se ouve numa sala depois de a fonte cessar subitamente de emitir designa-se *Reverberação*.

Um recinto reverberante pode-se assemelhar a um tubo de grande tamanho, no qual as ondas sonoras se reflectem para trás e para a frente entre cada par de superfícies paralelas, também viajando em direcção oblíqua de tal maneira que podem chocar com quatro ou seis superfícies. Se o recinto tiver uma forma irregular as ondas sonoras viajam segundo qualquer direcção, cruzando-se umas com as outras e voltando a si mesmas, aumentando o número de modos normais de vibração, ou seja aumentando o número de ondas sonoras cujas frequências são as frequências naturais de vibração do espaço em questão, que na realidade são muito complexas, podendo chegar a produzir-se milhares destes modos.

O amortecimento da reverberação acontece num tempo relativamente grande, dependendo da proporção de energia sonora dispersa, assim como das absorções sonoras nas superfícies limites do recinto.

O som de um recinto reverberante compõe-se de duas partes: em primeiro lugar o *som directo* e em segundo lugar o *som reflectido*. O “verdadeiro” som produzido por uma fonte sonora é aquele que se propaga directamente ao ponto de recepção, que é o *som directo* (figura 2.4). Uma fracção de segundo mais tarde recebe-se a primeira reflexão das superfícies

envolventes, cujas ondas se propagam por todo recinto produzindo modos normais de vibração, em que cada um diminui à sua própria velocidade, produzindo o chamado *som reverberante*.

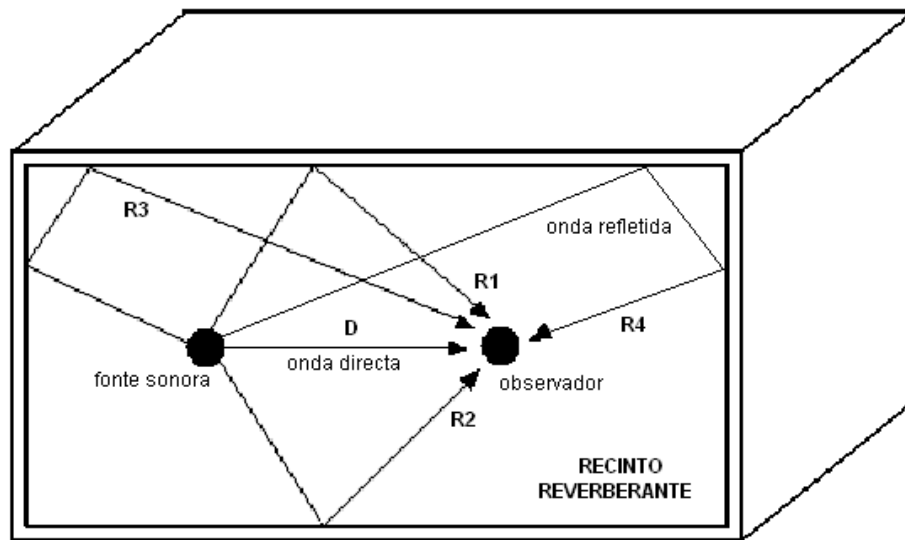


Figura 2.4 – Ondas sonoras directas e reflectidas nas superfícies interiores de um recinto [1].

Na figura 2.5 observa-se como chega ao receptor em primeiro lugar o som directo *D* no gráfico de tempos, seguindo-se o som reflectido na parede lateral *R1*, chegando posteriormente os sons correspondentes às reflexões *R2*, *R3*, *R4*. Como se pode observar (figura 2.5), o som directo chega ao receptor antes de todas as reflexões, já que percorre o caminho mais curto, passado um curto período de tempo chega a primeira reflexão, imediatamente depois chega a segunda e assim sucessivamente. A onda reflectida chega com um certo atraso de tempo relativamente à onda directa, dependendo este atraso da distância entre a fonte sonora e a superfície sobre a qual se reflecte.

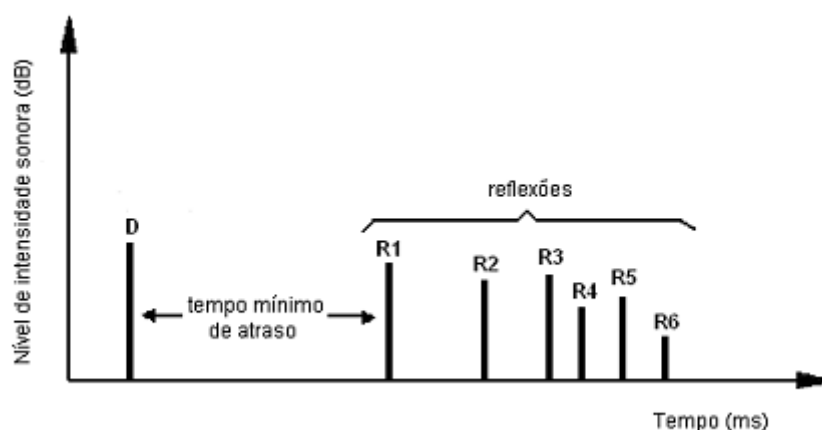


Figura 2.5 – Diagrama de chegada das ondas directas e reflectidas ao receptor [1].

É importante existir um parâmetro que seja indicativo de algum aspecto da qualidade acústica de uma sala e que se possa empregar para avaliar global e simplesmente a mesma.

O grande mérito do físico *Wallace Clement Sabine* [1] foi ter conseguido determinar esse parâmetro. Sabine chegou a uma relação empírica entre o tempo de reverberação de um espaço fechado T_R , o seu volume V e a área de absorção sonora total A .

A definição de T_R é assinalada como um dos mais importantes parâmetros acústicos de um espaço fechado. A fórmula é a seguinte:

$$T_R = \frac{0,16 \times V}{A}$$

relaciona o T_R (s) de um espaço fechado com o seu volume V (m³) e um parâmetro A (m²) que representa a área de absorção sonora total.

É uma fórmula cuja validade e limitações foram estudadas experimentalmente por Sabine, e baseia-se somente em considerações estatísticas. É excessivamente simples quando comparada com a complexidade do processo de reverberação que descreve.

No projecto de um novo recinto há que ter em conta a presença desta energia acústica reverberante que tende a ter um “efeito de mascaramento” no reconhecimento de um som novo. É desejável, por isso, que exista um tempo de reverberação pequeno de modo a minimizar efeitos de mascaramento do som. A escolha do tempo de reverberação ideal para certo local depende muito do tipo de uso suposto para esse mesmo local. No gráfico da figura 2.6 estão visíveis tempos de reverberação em função de volumes de salas, para diferentes usos, sendo estes espaços considerados bons acusticamente.

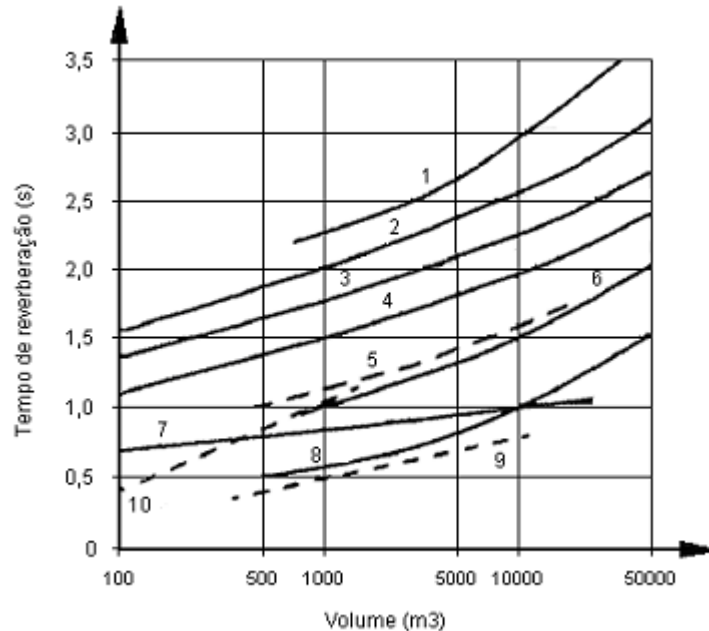


Figura 2.6 - Relação do tempo de reverberação com o volume, a frequências médias, para recintos considerados bons acusticamente, em que: 1) igrejas; 2) salas de concerto para orquestras; 3) salas de concerto para música ligeira; 4) estúdios de concerto; 5) salas de dança; 6) teatros de ópera; 7) auditórios para a palavra; 8) cinemas e salas de conferência; 9) estúdios de televisão; 10) estúdios de rádio [2].

2.4. ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA

Um factor de importância adicional ao projectar um recinto é a sua capacidade de isolar dos ruídos aéreos externos e assim reduzir o seu incómodo. Apesar de a transmissão acústica pelas paredes de ruídos externos ser, na maioria dos casos, o factor mais importante a considerar, não se deve esquecer que uma sala com um tempo de reverberação pequeno tende a minimizar o ruído de fundo provocado pelos ruídos que penetram através da envolvente da sala.

O comportamento acústico de um elemento estimulado por ruídos de condução aérea depende de vários factores, tais como: massa, duplicação física do material que o constitui, frequência do som incidente, frequências próprias, frequência crítica, campo sonoro incidente, rigidez, etc.

A redução sonora, R (dB) [6], caracteriza o isolamento sonoro a ruídos aéreos de um elemento, e muito genericamente define-se por:

$$R = 10 \log(1/\tau)$$

em que τ é o coeficiente de transmissão que relaciona a energia sonora transmitida e a incidente. Contudo, este processo não é simples como a expressão o dá a entender. De facto, a parede ou o elemento que recebe o estímulo sonoro tem comportamentos variados para diferentes intervalos de frequências, que conduzem a diferentes valores de R em cada um deles.

Através de ensaios laboratoriais é possível determinar o valor da redução sonora R de um elemento que divide dois compartimentos. Para isso, há que determinar o nível médio de pressão sonora no compartimento emissor (L_1), que será parcialmente transmitido ao compartimento receptor por vibração dos elementos da envolvente, originando um nível de pressão sonora (L_2), no compartimento receptor.

Se não existirem transmissões marginais do som, como se passa numa câmara reverberante, pode-se determinar o isolamento sonoro bruto D , que representa o isolamento sonoro sem qualquer tipo de correcção, por banda de frequência (dB):

$$D = L_1 - L_2$$

É possível relacionar L_1 e L_2 com R através da fórmula seguinte, estando garantidos certos pressupostos, de acordo com a norma NP EN 140-3:

$$D = L_1 - L_2 = R + 10 \log\left(\frac{A}{S}\right)$$

ou

$$R = L_1 - L_2 - 10 \log\left(\frac{A}{S}\right)$$

onde A é a área de absorção sonora equivalente existente no compartimento receptor (m^2), e S a superfície do elemento de separação (m^2).

No caso de existirem transmissões marginais (que é o caso das situações correntes), a fórmula transforma-se do seguinte modo, apenas para diferenciar da anterior:

$$D = L_1 - L_2 = R' + 10 \log\left(\frac{A}{S}\right)$$

Devido à importância da absorção sonora e também por questões regulamentares, utiliza-se normalmente o isolamento sonoro normalizado, D_n , dado pela expressão:

$$D_n = D + \log\left(\frac{A_0}{A}\right) = (L_1 - L_2) + 10\log\left(\frac{A_0}{A}\right) = R' + 10\log\left(\frac{A_0}{S}\right)$$

onde A_0 é uma área de absorção sonora equivalente de referência ($=10 \text{ m}^2$).

A medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea pode ser feita em laboratório e “in situ”. Para proceder à medição deste parâmetro, recorrem-se a ensaios normalizados (NP EN 140-3 e 4), onde se emite um ruído rosa de elevada intensidade, cerca de 100 dB, e determinam-se os valores de L_1 e L_2 , por banda de frequência.

Nas medições “in situ”, ou seja com a presença das transmissões marginais, é assim possível obter o valor do isolamento sonoro bruto e corrigi-lo para a absorção sonora equivalente existente no compartimento receptor D_n , para cada banda de frequência, usando os valores do tempo de reverberação, T_R , e volume no compartimento receptor, V :

$$D_n = L_1 - L_2 + 10\log\left(\frac{10 \times T_R}{0,16 \times V}\right)$$

A partir dos valores dos vários D_n para cada banda de frequência e por ajuste de acordo com a NP EN ISO 717-1, obtém-se um índice único de avaliação, o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado, $D_{n,w}$. Caso a medição seja feita em laboratório, ou seja sem transmissões marginais, esse parâmetro denomina-se R_w .

O parâmetro usado para quantificar o isolamento sonoro de paredes exteriores é $D_{2m,n,w}$. A determinação experimental deste parâmetro faz-se por medição dos níveis de pressão sonora no exterior, a dois metros da fachada ($L_{1,2m}$), e no interior do edifício (L_2) onde se corrige para uma absorção sonora de 10 m^2 , obtendo-se os valores de $D_{2m,n}$, para os vários intervalos de frequências:

$$D_{2m,n} = L_{1,2m} - L_2 - 10\log\left(\frac{0,16 \times V_2}{10 \times T_2}\right)$$

Após isto, obtém-se o valor de $D_{2m,n,w}$, índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado entre o exterior do edifício e o compartimento interior em análise. Este valor obtém-se pelo mesmo método de ajuste com a curva da NP-717-1, também usado para determinar os $D_{n,w}$ e R_w .

3

O MÉTODO MULTI-CRITÉRIO

3.1. INTRODUÇÃO

Os problemas complexos de tomada de decisões são comuns numa infinidade de áreas, tanto públicas como privadas e desde sempre que o homem os tenta resolver, apoiando-se em abstrações e raciocínios dedutivos, a fim de guiar e validar as suas escolhas. Os métodos multi-atributo de apoio à decisão surgiram com o intuito de ajudar na resolução destes problemas complexos, que envolvem objectivos incompatíveis entre si. O seu objectivo é auxiliar a tomada de decisão nestas situações, nas quais há a necessidade de identificação de prioridades sob a óptica de múltiplos atributos.

Estes métodos surgiram em seguimento dos métodos de *Investigação Operacional*. A *Investigação Operacional* nasceu após a segunda Guerra Mundial, derivada da grande experiência obtida pelas Forças Aliadas sobre problemas logísticos militares. Desenvolveram-se métodos estritamente matemáticos para que se encontrasse a solução óptima de problemas tais como optimização de custos, gastos, lucros, etc. O método Multi-Critério de apoio à decisão nasceu posteriormente (década de 1970), com o intuito de enfrentar situações específicas, nas quais um decisor, actuando racionalmente, deveria resolver um problema em que eram vários os objectivos a serem alcançados de forma simultânea. Este método está presente em variadíssimos ramos e em problemas cuja complexidade pode variar muito - pode ser aplicado tanto em problemas relativamente simples e localizados, como por exemplo na escolha da localização de um estabelecimento comercial, ou em projectos mais complexos, tais como a elaboração de um plano de despesas nacional ao nível da saúde, por exemplo. Apesar de muito diferentes, todos estes problemas têm em comum múltiplos e conflituosos objectivos, que na maioria dos casos acarretam a consequência de ter de se “perder” ao nível de um objectivo para se alcançar um ganho ao nível de outros.

O *Método Multi-Critério (MMC)* tem um carácter científico, e ao mesmo tempo subjectivo, possuindo a característica de conseguir englobar todas as características importantes ao problema, inclusive as não quantitativas, e permitindo sistematizar e transparecer o processo de resolução de problemas de decisão. A existência de uma estrutura de preferência, subjectiva, está implícita no método. A concepção da “melhor” solução ou da solução mais “equilibrada” depende muito desta estrutura de preferência, que por sua vez determina as regras de decisão. A essência do *MMC* resume-se ao seguinte: cada alternativa é avaliada pelos diferentes atributos, sendo cada atributo uma medida de um objectivo. O lema deste método é, num termo muito geral, o seguinte: “Considerando os atributos de decisão, escolher a ‘melhor’ alternativa”.

São vários os modos de formular um problema multi-critério correspondente a uma dada situação - uma apropriada formulação e daqui a selecção de uma técnica de resolução apropriada depende em primeiro lugar dos elementos chave do próprio problema: o sujeito decisor; as características dos objectivos e atributos assim como a relação entre eles; a natureza do processo de decisão (isto é, discreto ou contínuo); etc.

Basicamente, podem fazer-se quatro diferentes abordagens, que estão sintetizadas no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Diferentes técnicas de abordagem do método Multi-Critério.

	Ramo Discreto		Ramo Contínuo
Ramo Determinístico	<i>Decisão discreta – caso determinístico</i>	<i>multi-atributo</i>	<i>Programação linear multi-atributo – caso determinístico</i>
Ramo Estatístico	<i>Decisão discreta – caso estatístico</i>	<i>multi-atributo</i>	<i>Programação linear multi-atributo – caso estatístico</i>

As diferenças entre os ramos Discreto e Contínuo são as seguintes:

- No ramo *Discreto* as alternativas são explícitas, sendo seleccionada uma da lista de alternativas. É o caso dos problemas de *Decisão multi-critério discreta*.
- No ramo *Contínuo* as alternativas são implícitas e podem ser infinitas em número pois o espaço da solução é contínuo e consiste em mais do que uma solução. É o caso dos problemas de *programação linear multi-critério*.

Por outro lado, as diferenças entre os ramos *Determinístico* e *Estatístico* consiste em:

- No caso *Determinístico*, são conhecidos os valores exactos dos critérios.
- No caso *Estatístico*, os valores dos critérios são vistos como variáveis aleatórias que são caracterizadas por uma distribuição de probabilidades, para cada alternativa.

Essencialmente, o processo de decisão multi-critério é um problema de optimização com diferentes funções objectivo simultâneas, onde se enfrenta cada solução como um compromisso entre os objectivos em conflito.

É importante referir que também se deve distinguir o MMC por “escolas”, havendo basicamente o método americano e o francês. Neste trabalho, vai ser abordada a teoria da utilidade multi-critério, lançada pela escola americana, talvez por ser o método que melhor se ajusta ao problema em questão. Esta teoria enquadra-se na versão discreta e determinística do MMC, pois será aplicada sobre uma amostra de salas de audiências de tribunais conhecida (alternativas), em que os parâmetros acústicos (valores já conhecidos) serão os critérios de decisão sobre a qualidade acústica de cada alternativa.

3.2. DECISÃO MULTI-CRITÉRIO DISCRETA – CASO DETERMINÍSTICO

O método de apoio à decisão multi-critério discreta baseia-se na hipótese de que, num problema de decisão, existe uma função de valor real v sobre um conjunto de alternativas A , função essa que agrega os critérios $C_1, C_2, \dots, C_n$.

Este método supõe que o decisor é capaz de identificar várias alternativas discretas para serem avaliadas e é capaz de estruturar os critérios pelos quais as alternativas serão avaliadas.

3.2.1. CONCEITOS E CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Antes de expor o problema, convém fazer uma introdução e apresentação dos principais conceitos implicados nos problemas do tipo multi-critério discreto assim como uma introdução teórica às relações binárias, de modo a facilitar a compreensão e familiarização com o problema.

3.2.1.1. Conceitos

Numa situação de decisão, existe o *decisor*, *atributos* e *critérios*, *objectivos*, *alternativas*, e *pesos*. É de maior importância defini-los no contexto do *multi-critério*:

- *Decisor*: indivíduo que modela o problema de decisão, assim como também dita o juízo final acerca da solução a implementar.
- *Atributos e critérios*: os *atributos* representam propriedades ou capacidades das *alternativas* para satisfazer determinadas necessidades, podendo ser representadas nas mais variadas unidades, ou podendo mesmo não serem quantificáveis. Por exemplo, na avaliação da localização de um restaurante, a *proximidade aos clientes*, a *imagem*, a *renda* e as *facilidades de estacionamento* são alguns dos *atributos* do problema. Quando se acrescenta aos *atributos* informações relativas às preferências do decisor, possibilitando um conjunto de regras que estabelecem relações de preferência entre as *alternativas* relativamente a um *atributo* em questão, está-se a referir a um *critério de decisão*. Os *critérios* definem os eixos de avaliação que direccionam a análise do problema, representando uma medida da eficácia do desempenho de cada *alternativa*, ou seja, permitem avaliar os níveis dos vários *objectivos*. Relativamente ao exemplo anterior, se o desejo do decisor for que a *proximidade aos clientes* seja máxima, a partir dessa informação institui-se um *critério* que permite que, perante quaisquer duas *alternativas* de localização, o decisor seja capaz de determinar a preferida quanto ao *atributo* “*proximidade aos clientes*”. Pode-se interpretar o conceito de *critério* como uma função relativa a um *atributo* que faz corresponder o conjunto de todos os pares ordenados de *alternativas*. Essa função deve ser tal que permita descrever o resultado da comparação entre duas *alternativas* a_i e a_j ($i \neq j$), segundo um *atributo* C_z , a partir da comparação de dois números reais $C_z(a_i)$ e $C_z(a_j)$. O número máximo de *critérios* a ser usado na aplicação deste método não está limitado à partida, no entanto alguns *métodos multi-critérios discretos*, em que se comparam *alternativas* impõem sete como o número máximo de *critérios*, pois está provado que o cérebro humano tem dificuldades em comparar, ao mesmo tempo, mais de sete objectos. Da mesma forma, não se deve “abusar” no número de *critérios*, pois a partir de determinado número há dificuldades em perceber as suas características mais significativas, assim como a importância de cada um.
- *Objectivos*: é algo que se espera que seja concretizado. Um *objectivo* indica a direcção de mudança desejada. Por exemplo, conseguir uma renda baixa pode

ser um *objectivo* para o proprietário do estabelecimento comercial do exemplo citado acima.

- *Alternativas*: uma *alternativa* é uma potencial solução do problema e designa-se por a_i , fazendo parte de um conjunto de escolha ou *conjunto de alternativas* A , que serão analisadas no problema. Relativamente ao exemplo já referido, as n possíveis localizações para o estabelecimento comercial fazem parte deste conjunto de *alternativas*.
- *Pesos*: Alguns *critérios* têm mais importância do que outros, para o *decisor*. Os *pesos* representam a medida da importância relativa que os *critérios* têm para o decisor.

3.2.1.2. Considerações teóricas

De modo a solucionar o seu problema, o *decisor* tem de comparar as *alternativas* entre si, e decidir qual prefere, ou se lhe são indiferentes. Confrontado com duas *alternativas* a_i e a_j ($i \neq j$), o *decisor* é capaz de escolher uma e só uma, sem qualquer ambiguidade, das seguintes possibilidades:

- $a_i P a_j$: a_i é estritamente preferido a a_j ;
- $a_j P a_i$: a_j é estritamente preferido a a_i ;
- $a_i I a_j$: a_i é indiferente a a_j .

As relações entre duas quaisquer *alternativas* denominam-se por *relações binárias*. Portanto, estas expressões das preferências do decisor, quando compara quaisquer duas *alternativas* a_i e a_j ($i \neq j$) $\in A$, são feitas por intermédio de *relações binárias*.

Para compreender melhor o conceito de *relação binária*, considere-se E um conjunto não vazio. Uma *relação binária* B sobre o conjunto E é um subconjunto do produto cartesiano $E \times E$, isto é $B \subseteq E \times E$. Um par ordenado $(e_i, e_j) \in E \times E$ satisfaz a relação B quando $(e_i, e_j) \in B$, caso contrário, $(e_i, e_j) \notin B$. Por exemplo: Considere-se o conjunto $E = \{a, b, c\}$ e a *relação binária* $B = \{(a, a), (b, a), (c, c)\} \subseteq E \times E$. A relação B pode ser visualizada através da figura 3.1:

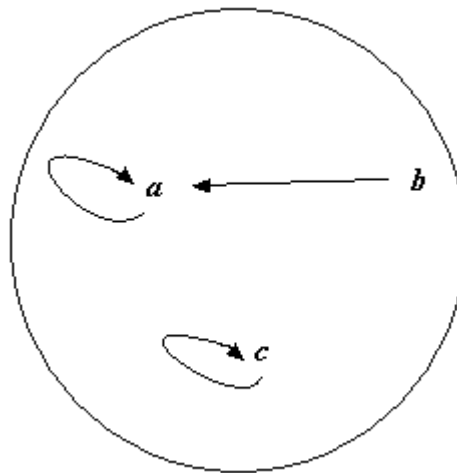


Figura 3.1- Relação binária B [3].

As relações binárias possuem propriedades, que a seguir se descrevem:

- *Reflexividade*: uma *relação binária* é *reflexiva* se, para todo o $e \in E$, tem-se $(e, e) \in B$.
- *Irreflexividade*: uma *relação binária* é *irreflexiva* se, para todo o $e \in E$, tem-se $(e, e) \notin B$.
- *Simetria*: uma *relação binária* é *simétrica* se $(e, e') \in B$ supõe que também $(e', e) \in B$.
- *Assimetria*: uma *relação binária* é *assimétrica* se $(e, e') \in B$; então $(e', e) \notin B$.
- *Transitividade*: uma *relação binária* é *transitiva* se $(e, e') \in B$ e $(e', e'') \in B$ implicam que $(e, e'') \in B$.

Então, ao comparar duas *alternativas*, as relações *P* (estritamente preferido a) ou *I* (indiferente a) referidas acima, como se tratam de *relações binárias*, devem satisfazer os seguintes requisitos:

- A *relação binária P* deve ser *assimétrica* e *transitiva*.
- A *relação binária I* deve ser *reflexiva*, *simétrica* e *transitiva*.

Além de terem que satisfazer os requisitos acima descritos, as *relações binárias* acima definidas compõem um sistema de relações de preferência de um decisor em relação ao conjunto de *alternativas* possíveis, se:

- Forem *exaustivas*, ou seja, para qualquer par de *alternativas* do conjunto *A* verifica-se, pelo menos, uma das três relações apresentadas;
- Forem *mutuamente excludentes*, ou seja, para um par de *alternativas*, nunca se verificam duas relações distintas.

3.2.2. MODELO GERAL DO PROBLEMA

Considere-se *a* uma *alternativa* viável e *A* o conjunto de todas as *alternativas* viáveis. A cada alternativa a_i de *A* são associados *n* índices de valor $C_1(a_i)$, $C_2(a_i)$, ..., $C_n(a_i)$, que correspondem aos desempenhos da alternativa a_i conforme os *n* critérios. Os *n* índices avaliadores relacionam a alternativa a_i de *A* com um ponto no espaço de consequências *n*-dimensional $C(a_i) = (C_1(a_i), C_2(a_i), \dots, C_n(a_i))$.

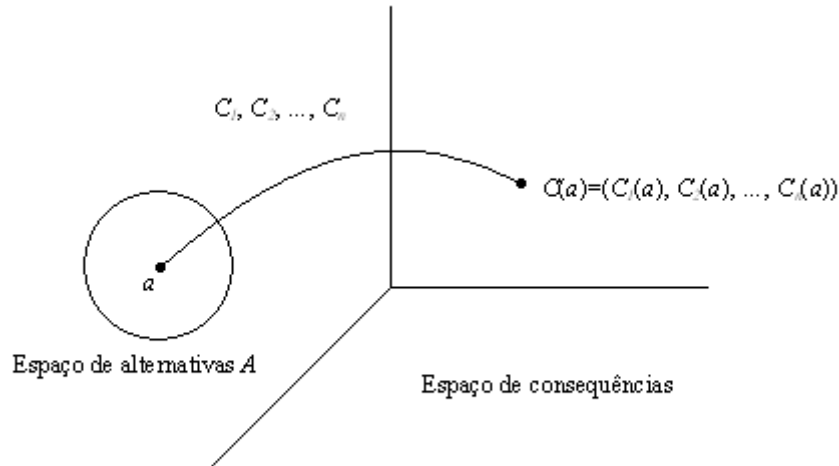


Figura 3.1 - Correspondência das alternativas no espaço de consequências [4]

O problema do decisor consiste em escolher uma alternativa a_i em A que melhor o satisfaça relativamente aos resultados $C_1(a_i), C_2(a_i), \dots, C_n(a_i)$. Desta forma, é necessário obter uma função que combine $C_1(a_i), C_2(a_i), \dots, C_n(a_i)$ num parâmetro global de valor ou de análise. Portanto, deve ser definida uma função de valor escalar v sobre o espaço de consequências, com as seguintes propriedades:

$$\begin{aligned} v(C_1(a_i), C_2(a_i), \dots, C_n(a_i)) > v(C_1(a_j), C_2(a_j), \dots, C_n(a_j)) &\Leftrightarrow v(a_i) > v(a_j) \Leftrightarrow a_i P a_j \\ v(C_1(a_i), C_2(a_i), \dots, C_n(a_i)) = v(C_1(a_j), C_2(a_j), \dots, C_n(a_j)) &\Leftrightarrow v(a_i) = v(a_j) \Leftrightarrow a_i I a_j \end{aligned}$$

Atente-se no facto de os valores dos desempenhos da alternativa a_i conforme os n critérios $(C_1(a_i), C_2(a_i), \dots, C_n(a_i))$ terem sido convertidos previamente, através de uma função de valor simples, em valores numa única escala numérica. Isto porque caso contrário as magnitudes de cada critério não poderiam ser comparadas pois carecia de sentido devido a estes mesmos critérios serem na maioria das vezes medidos em unidades diferentes.

3.2.3. PRINCIPAIS ETAPAS DO MÉTODO

Neste ponto expõe-se a lista das etapas que são essenciais para o desenvolvimento do método, assim como se fazem algumas considerações relativas à escolha de alternativas, definição de critérios, função de valor e importância relativa de cada critério. Não é obrigatório obedecerem a esta ordem, mas é a ordem que é mais comumente utilizada.

1. **Identificação de alternativas:** Relativamente a este ponto, não há grandes considerações a fazer, pois normalmente é um processo fácil e imediato visto elas serem o motivo pelo qual surge o problema de decisão. No entanto, em certos casos pode ser necessário defini-las ou mesmo reduzir uma longa lista de alternativas numa menor, através da eliminação das alternativas que não atinjam um nível pré-estabelecido em determinado atributo, por exemplo, de modo a simplificar o processo de decisão.

2. **Identificação de objectivos:** quanto à identificação de objectivos, há também pouco a referir, pois é um passo simples e que não levanta grandes dificuldades, sendo necessária apenas uma reflexão sobre os objectivos que são essenciais para atingir. Muitas vezes, os próprios objectivos estão na base do surgimento do problema de decisão, tratando-se nestes casos de dados pré-estabelecidos do problema.
3. **Definição dos critérios relevantes para o problema de decisão:** relativamente à definição dos critérios relevantes para o problema de decisão, podem ser usadas muitas técnicas. No entanto, uma técnica bastante usada e útil em problemas complexos consiste em estruturar os critérios numa hierarquia em forma de árvore onde o critério mais alto (que fica no topo da árvore) é decomposto em níveis mais detalhados de critérios. É importante sublinhar que não existe uma hierarquia correcta para nenhum problema em particular e que existem poucos procedimentos formais que auxiliam na estruturação de uma hierarquia de critérios, sendo esta uma habilidade adquirida com a prática. No entanto, existem cinco factores através dos quais o decisor se pode guiar para averiguar se a sua representação é útil:
 - *Integral*: todos os critérios importantes para o decisor estão contidos na árvores de critérios.
 - *Operacionalidade*: um critério é operacional quando todos os critérios dos níveis mais baixos correspondentes são suficientemente específicos para que o decisor possa avaliá-los e compará-los nas diferentes alternativas.
 - *Decomponibilidade*: esta propriedade permite que uma alternativa seja avaliada relativamente a um critério, independentemente do desempenho dessa mesma alternativa relativamente a outros critérios.
 - *Ausência de redundância*: cada critério deve representar algo que mais nenhum represente. Se dois critérios representarem a mesma coisa, então um deles é claramente redundante. Todos os critérios devem ser mutuamente exclusivos. O perigo associado a uma redundância deve-se ao facto que esta pode acarretar uma dupla contabilização ou não de determinada alternativa, conduzindo a resultados indevidos.
 - *Tamanho mínimo*: a árvore não deverá ser excessivamente grande, pois isso irá conduzir a uma análise sem grande significado. Então, cada critério deve conter o máximo de problemas envolvidos, de modo a que o tamanho da árvore possa ser reduzido.
4. **Atribuição de uma função de valor a cada critério:** relativamente a esta etapa, procura-se quantificar o valor de cada alternativa relativamente a cada critério, ou seja encontrar uma função de valor que correlaciona os vários valores dos critérios com uma pontuação, de modo a que o desempenho de cada alternativa conforme cada critério possa ser mensurável numa escala numérica. A escala de valor não é necessariamente uma função linear, podendo assumir as mais variadas funções, que dependem das características intrínsecas do critério assim como os objectivos do decisor.

A partir deste ponto, esta função de valor real v definida em A permite que, relativamente a um dado critério:

$$a_i P a_j \Rightarrow C_z(a_i) > C_z(a_j)$$

ou

$$a_i I a_j \Rightarrow C_z(a_i) = C_z(a_j)$$

A função $C_z(a_i)$ é a essência do conceito de critério, já atrás referido, pois trata-se de função relativa a um critério que faz corresponder o conjunto de todos os pares ordenados de alternativas. Esta função permite descrever o resultado da comparação entre duas alternativas a_i e a_j ($i \neq j$). Qualquer diferença entre os valores da função C_z implica uma situação de preferência estrita, e a situação de indiferença apenas ocorre quando a função C_z assume o mesmo valor tanto para a_i como para a_j .

5. **Atribuição de uma importância a cada atributo, expressa sobre a forma de pesos:** esta fase do processo de decisão consiste em atribuir pesos aos critérios, com o fim de mostrar a importância que cada um tem para o decisor. Estes pesos determinam a importância relativa de cada critério, ou seja, quanto se está disposto a ceder de determinado critério com o fim de melhorar o desempenho relativamente a outro critério.
6. **Determinação do valor de cada alternativa:** nesta fase aplica-se uma função avaliadora a todas as alternativas, que por sua vez é função dos pesos dos critérios assim como das respectivas funções de valor, e determina-se o valor que cada alternativa obteve. Esta função avaliadora trata-se de uma função de valor linear aditiva, que avalia o desempenho de cada alternativa $v(a_i)$, da seguinte forma:

$$v(a_i) = \sum_{j=1}^n p_j [C_j(a_i)]$$

em que $C_j(a_i)$ representa o desempenho da alternativa a_i conforme o j -ésimo critério, e p_j (com $p_j > 0$) representa o peso do j -ésimo critério. Como é óbvio, os pesos são percentagens, e como tal o somatório de todos eles tem que ser sempre igual à unidade.

7. **Escolha da alternativa com o melhor resultado:** finalmente escolhe-se e implementa-se a alternativa que obteve o melhor resultado, ou seja, o máximo valor de v .

Este problema pode ser representado numa matriz (quadro 3.2), em que, cada coluna representa uma alternativa a_i e cada linha um atributo de decisão. Um valor qualquer da matriz $C_j(a_i)$ representa o desempenho da alternativa a_i conforme o atributo j .

Por fim, é escolhida a alternativa que apresentou o melhor resultado, ou seja, o máximo valor.

Quadro 3.2 – Representação do problema multi-atributo discreto determinístico numa matriz.

Critério	Peso	Alternativas						
	(p_j)	a_1	a_2	...	...	a_i	...	a_n
C_1	p_1	$C_1(a_1)$	$C_1(a_2)$	...	...	$C_1(a_i)$	...	$C_1(a_n)$
C_2	p_2	$C_2(a_1)$	$C_2(a_2)$	...	...	$C_2(a_i)$	...	$C_2(a_n)$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
C_i	p_i	$C_i(a_1)$	$C_i(a_2)$	...	...	$C_i(a_i)$	...	$C_i(a_n)$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
C_n	p_n	$C_n(a_1)$	$C_n(a_2)$	...	...	$C_n(a_i)$	...	$C_n(a_n)$

Nos problemas do MMC, é praticamente impossível existir uma alternativa para a qual todos os objectivos atinjam, ao mesmo tempo, o seu valor óptimo (caso contrário, não fazia

sentido aplicar o MMC). Por outro lado, em razão do maior ou menor conflito entre os objectivos, é comum que uma solução seja melhor que outras em alguns dos objectivos, ao mesmo tempo que, para os demais objectivos, essa mesma solução seja superada por outras.

3.3.4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

De modo a tornar mais clara a explicação, vai-se usar um exemplo em que o dono de um restaurante pretende mudar o local do mesmo. Para isso, considera cinco possibilidades para uma nova localização (a_1 , a_2 , a_3 , a_4 e a_5), em que cada uma será avaliada segundo os seguintes critérios: *aluguer*; custos de *electricidade e água*; custos de *reabilitação e/ou remodelação*; *proximidade ao centro* da cidade; *imagem*; *tamanho ou área do estabelecimento*; *facilidades de estacionamento*. As alternativas são, portanto, as cinco possibilidades de localização e os objectivos do dono do estabelecimento são os seguintes: minimizar os custos relacionados com o aluguer assim como os custos relacionados com a electricidade e água, e ainda minimizar os possíveis custos que podem surgir de uma possível remodelação ou reabilitação do estabelecimento; maximizar a proximidade do restaurante ao centro da cidade, logo, de potenciais clientes; obter a melhor imagem para o seu estabelecimento de modo a torná-lo atractivo; maximizar o espaço do estabelecimento de modo a proporcionar maior conforto e melhores condições de trabalho; maximizar o número de lugares de estacionamento. Portanto, perante cada possibilidade de localização, existem sete objectivos em análise.

As cinco possibilidades de localização do estabelecimento possuem as seguintes características:

- a_1 representa: um custo de aluguer de 500 €; um custo mediano de 150 € em electricidade e água; uma necessidade baixa de reabilitação ou remodelação; situa-se a quatro quilómetros do centro da cidade; apresenta uma boa imagem; uma área de 100 m² e dispõe de 12 lugares de estacionamento disponíveis;
- a_2 representa: um custo de aluguer de 1000 €; um custo mediano de 300 € em electricidade e água; uma necessidade nula de reabilitação ou remodelação; situa-se a 1 quilómetro do centro da cidade; apresenta uma imagem muito boa; uma área de 130 m² e dispõe de 5 lugares de estacionamento disponíveis;
- a_3 representa: um custo de aluguer de 650 €; um custo mediano de 150 € em electricidade e água; uma necessidade intensiva de reabilitação ou remodelação; situa-se no centro da cidade; apresenta uma boa imagem; uma área de 80 m² e dispõe de 4 lugares de estacionamento disponíveis;
- a_4 representa: um custo de aluguer de 400 €; um custo mediano de 100 € em electricidade e água; uma necessidade baixa de reabilitação ou remodelação; situa-se a cinco quilómetros do centro da cidade; apresenta uma imagem pouco satisfatória; uma área de 70 m² e dispõe de 15 lugares de estacionamento disponíveis;
- a_5 representa: um custo de aluguer de 500 €; um custo mediano de 100 € em electricidade e água; uma necessidade nula de reabilitação ou remodelação; situa-se a oito quilómetros do centro da cidade; apresenta uma imagem satisfatória; uma área de 100 m² e dispõe de 25 lugares de estacionamento disponíveis.

A árvore de critérios pode ser visualizada na figura 3.2, onde os critérios estão assinalados a negrito.

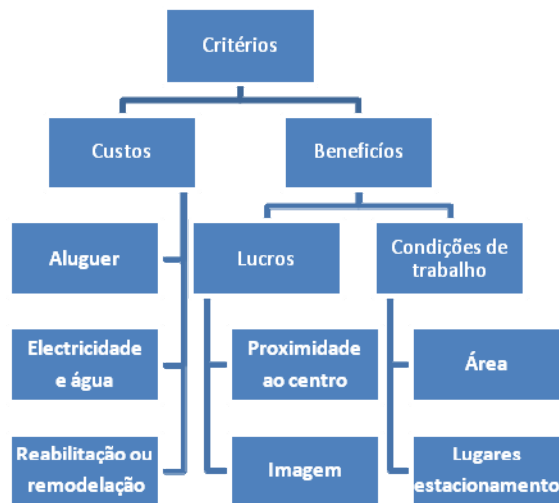


Fig. 3.2 - Árvore de atributos para o problema de localização de restaurante.

A função de valor para o critério *Aluguer* está expressa no quadro 3.3; a mesma função para o critério *Electricidade e Água* no quadro 3.4; a mesma para o critério *Reabilitação e/ou remodelação* no quadro 3.5; para o critério *Proximidade ao centro* encontra-se na fig 3.3; para o critério *Imagem* no quadro 3.6; para o critério *área* na fig. 3.4; e finalmente para o critério *Lugares de estacionamento*, no quadro 3.7.

Após isto procede-se à classificação do desempenho de cada alternativa perante cada critério, assim como à atribuição dos pesos a cada critério, podendo visualizar-se o resumo dos principais passos e resultados no quadro 3.8. Neste quadro também se pode visualizar os resultados das alternativas em termos de parâmetros globais de análise, concluindo-se que a alternativa a ser escolhida é a alternativa a_5 , pois apresenta a pontuação mais alta (14,8).

Quadro 3.3 – Função de valor para o critério *Aluguer*.

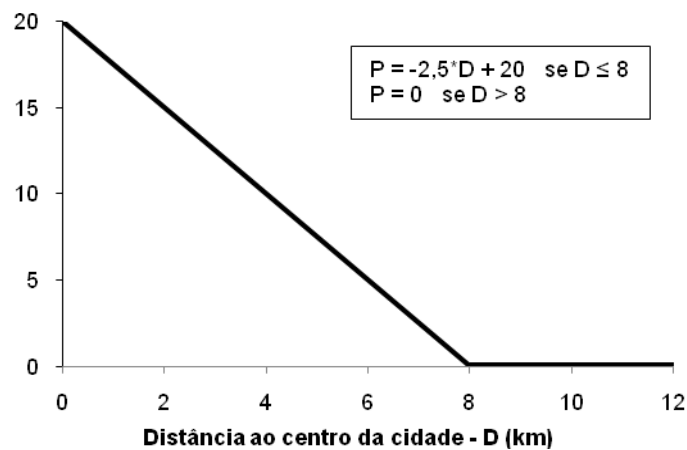
Aluguer (€)	Pontuação
≤ 400	20
] 400; 500]	17
] 500; 600]	15
] 600; 700]	12
] 700; 800]	8
> 800	5

Quadro 3.4 – Função de valor para o critério *Electricidade e Água*.

Custo com electricidade e água (€)	Pontuação
≤ 100	20
] 100; 150]	16
] 150; 200]	12
] 200; 250]	10
> 250	5

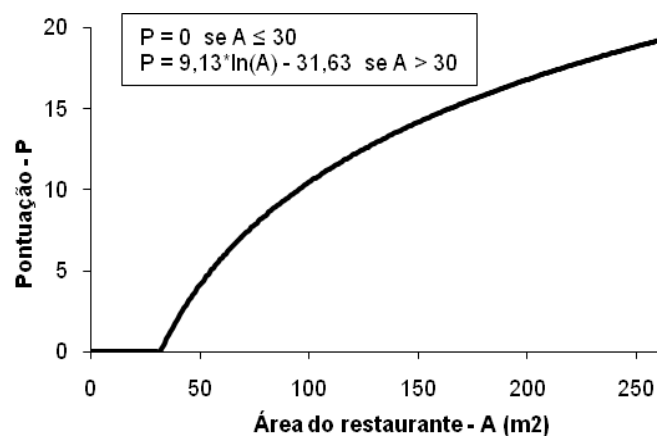
Quadro 3.5 – Função de valor para o critério *Reabilitação e/ou Remodelação*.

Necessidade de Reabilitação e/ou Remodelação	Pontuação
Nenhuma	20
Baixa	14
Mediana	7
Intensiva	0

Figura 3.3 – Gráfico da Função de valor para o critério *Proximidade ao centro*.

Quadro 3.6 – Função de valor para o critério *Imagem*.

Imagem	Pontuação
Muito boa	20
Boa	15
Satisfatória	10
Pouco satisfatória	5
Má	0

Fig. 3.4 – Gráfico da Função de valor para o critério *Área*.Quadro 3.7 – Função de valor para o critério *Lugares de estacionamento*.

Nº de lugares de estacionamento	Pontuação
≥ 25	20
$[20; 25 [$	18
$[15; 20 [$	16
$[10; 15 [$	12
$[5; 10 [$	9
$[0; 5[$	2

Quadro 3.8 – Pontuações das alternativas e pesos dos critérios de decisão para o problema da localização do restaurante.

Critérios	Pesos (p_i)	Alternativas (a_i)				
		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
<i>Aluguer</i>	0,25	17	5	12	20	17
<i>Electricidade e Água</i>	0,20	16	5	16	20	20
<i>Reabilitação e/ou Remodelação</i>	0,15	14	20	0	14	20
<i>Proximidade ao centro</i>	0,10	10	17,5	20	7,5	0
<i>Imagem</i>	0,20	15	20	15	5	10
<i>Área</i>	0,05	10	13	8	7	10
<i>Lugares de estacionamento</i>	0,05	9	9	2	16	20
$v(a_i)$	-	14,5	12,1	11,7	14,0	14,8

3.4. O MULTI-CRITÉRIO COMO UM MÉTODO DE ANÁLISE E COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS DE SALAS DE AUDIÊNCIAS DE TRIBUNAIS

Explicada a teoria do método multi-critério determinístico discreto, torna-se fácil entender o modo como este algoritmo poderá ser testado como um meio avaliador da qualidade acústica de um conjunto finito de salas de audiências de tribunais.

De facto, a formulação do algoritmo passará por:

- definir os critérios de decisão (parâmetros acústicos mais relevantes);
- definir a função de valor e importância de cada critério acústico;
- atribuir o algoritmo multi-critério propriamente dito assim como aplicá-lo à amostra em teste;
- e finalmente tirar conclusões acerca do desempenho de cada alternativa (cada sala) ao nível da qualidade acústica.

Em primeiro lugar, são analisados um conjunto de valores de parâmetros acústicos relativos à amostra (Tempo de reverberação T_R , $RASTI$ (Rapid Speech Transmission Index) e os Índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea $D_{n,w(interior)}$ (da parede que separa a sala do átrio de entrada, e da parede que separa a mesma sala e outras salas contíguas) e $D_{2m,n,w}$ (da fachada)). Estes parâmetros representam os atributos do problema. Irá ser feita uma normalização dos valores reais destes parâmetros acústicos para uma escala de 0-20 valores (20 para os valores ideais considerados para uma sala destinada à palavra e 0 para valores inaceitáveis), isto com o objectivo de medir o desempenho de cada sala segundo cada critério, usando a mesma escala para os diferentes critérios. O objectivo é pois, a maximização da qualidade acústica das salas de audiências de tribunais.

3.5. CONSIDERAÇÕES FEITAS NA APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTI-CRITÉRIO

3.5.1. FUNÇÕES DE VALOR

De entre os parâmetros acústicos existentes foram usados como atributos do problema quanto à qualidade acústica das salas de audiências de tribunais estudadas: o Tempo de reverberação (T_R); *Rapid Speech Transmission Index* ($RASTI$); e os Índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre a sala de audiência e os espaços interiores contíguos a esta ($D_{n,w(interior)}$) e entre o exterior e a sala ($D_{2m,n,w}$).

O motivo pelo qual se elegeram apenas os parâmetros atrás citados e não todos os possíveis parâmetros acústicos existentes no estudo das salas de audiências de tribunais prende-se no facto de alguns desses parâmetros possuírem uma boa correlação entre si, assim como muitos deles estão mais relacionados com a acústica de salas de concertos e a perceptibilidade da música (caso dos parâmetros Tempo central (TS) e Claridade ($C80$)). O parâmetro Definição ($D50$), apesar de estar relacionado com a perceptibilidade da palavra, não foi escolhido como critério de decisão pois apresenta uma muito boa correlação com o parâmetro $RASTI$, com um R^2 de 0,97 [5]. Assim como o $RASTI$ e $D50$, também os parâmetros $RASTI$ e T_R apresentam uma boa correlação entre si (R^2 de 0,95 [5]), no entanto achou-se conveniente usar os dois parâmetros como critérios de decisão na medida em que, o tempo de reverberação é um parâmetro importantíssimo para a caracterização acústica e é uma medida que não se limita apenas a caracterizar a inteligibilidade da palavra, mas também a reverberação e o efeito no ruído de fundo da sala, por exemplo.

As funções de valor para cada critério foram atribuídas fazendo corresponder a cada valor ou intervalo de valores uma determinada pontuação, numa escala de 0-20 valores tal que, ao valor óptimo destes parâmetros corresponde a nota de 20 valores, assim como para valores menos bons correspondem notas inferiores. As condições acústicas ideais de uma sala destinada à palavra, assim como certas condições inaceitáveis para estas mesmas salas e as mínimas regulamentares serviram como referências na atribuição das funções de valor a cada critério. Esta elaboração de funções de valor foi grandemente condicionada pelos valores prescritos actualmente em projectos de condicionamento acústico, através do *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE)* – tendo tido em consideração a regulamentação referente aos edifícios escolares e hospitalares, pois este regulamento não indica explicitamente os requisitos acústicos a ter em conta em salas de audiências de tribunais.

Considerou-se que a analogia mais fidedigna de uma sala de audiência de tribunal seria uma sala de aula, devido às características bidireccionais de inteligibilidade existentes nas duas salas. Estabeleceu-se o princípio de que as condições acústicas mínimas requeridas para as salas de aula corresponderiam às mínimas respectivas das salas de audiências de tribunais. Por outro lado, partiu-se do princípio que um hospital excede, em termos de requisitos acústicos, os valores requeridos no *RRAE*, pois o hospital trata-se de um edifício particularmente sensível a nível de ruídos, e acarreta um nível de exigência mais elevado que o de um edifício escolar, em alguns aspectos. Assim, considerou-se que aos valores iguais aos valores mínimos regulamentares de cada parâmetro acústico para este tipo de edifícios (hospitais) correspondiam cotações acima do mínimo, em alguns casos bastante elevadas, sem no entanto atribuir a pontuação máxima de 20 valores devido ao facto de, apesar de se tratarem de valores que excedem os “mínimos” das escolas, não são valores “ideais”.

Transcreve-se de seguida o conteúdo articulado no *RRAE* (Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio) usado como base neste estudo:

Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

(...)

Artigo 7.º Edifícios escolares

1 – A construção de edifícios para fins escolares, de investigação e de leitura deve cumprir os seguintes requisitos acústicos:

a) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, $D_{2m,n,w}$, entre o exterior dos edifícios (emissão) e os compartimentos interiores identificados no quadro II do anexo ao presente Regulamento, do qual faz parte integrante, como locais receptores (recepção), deverá satisfazer as condições seguintes:

i) $D_{2m,n,w} \geq 33$ dB (em zonas mistas);

ii) $D_{2m,n,w} \geq 28$ dB (em zonas sensíveis);

b) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, $D_{n,w}$, entre locais do edifício, deverá satisfazer as condições indicadas no quadro II do anexo ao presente Regulamento;

(...)

d) No interior dos locais que constam do quadro III do anexo ao presente Regulamento, do qual faz parte integrante, considerados mobilados normalmente e sem ocupação, o tempo de reverberação, T , correspondente à média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitava centradas nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, deverá satisfazer as condições indicadas no referido quadro;

(...)

Artigo 8.º Edifícios hospitalares

1 – A construção de edifícios que se destinem à prestação de serviços hospitalares deve cumprir os seguintes requisitos acústicos:

a) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, $D_{2m,n,w}$, entre o exterior dos edifícios (emissão) e os compartimentos interiores identificados no quadro V do anexo ao presente Regulamento, do qual faz parte integrante, como locais receptores (recepção), deverá satisfazer as condições seguintes:

i) $D_{2m,n,w} \geq 33$ dB (em zonas mistas);

ii) $D_{2m,n,w} \geq 28$ dB (em zonas sensíveis);

b) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, $D_{n,w}$, entre locais do edifício, deverá satisfazer as condições indicadas no quadro V do anexo ao presente Regulamento;

Quadro II ($D_{n,w}$)

<i>Locais de recepção</i> -	<i>Salas de aula (*)</i> <i>de professores,</i>	<i>Bibliotecas e</i> <i>Gabinetes</i>	<i>Salas</i> <i>polivalentes</i>
<i>Locais de emissão</i>	<i>Administrativas</i>	<i>médicos</i>	
<i>Salas de aula, de</i> <i>professores,</i> <i>administrativas</i>	≥ 45	≥ 45	≥ 45
<i>Salas de aula musical,</i> <i>salas polivalentes,</i> <i>refeitórios, ginásios e</i> <i>oficinas</i>	≥ 55	≥ 58	≥ 50
<i>Corredores de grande</i> <i>circulação (**)</i>	≥ 30	≥ 35	≥ 30

(*) Incluindo salas de aula musical.

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

Quadro III

<i>Locais</i>	<i>Tempo de reverberação</i> <i>(500 Hz – 2 kHz)</i>
<i>Salas de aula, de professores, salas</i> <i>polivalentes e refeitórios</i>	$T \leq 0,15 V^{1/3} [s]$ (V. artigo 9.º)
<i>Ginásios</i>	

V = volume interior do recinto em causa.

Quadro V ($D_{n,w}$)

<i>Locais de recepção</i>	<i>Blocos operatórios, gabinetes médicos, salas de trabalho, salas de consulta ou exame</i>	<i>Enfermarias, salas de tratamento</i>
<i>Locais de emissão</i>		
<i>Blocos operatórios, gabinetes médicos, salas de trabalho, salas de consulta ou exame</i>	≥ 48	≥ 40
<i>Enfermarias, salas de tratamento</i>	≥ 55	≥ 45
<i>Circulações internas (*)</i>	≥ 35	≥ 30
<i>Refeitórios e cozinhas</i>	≥ 52	≥ 45
<i>Oficinas</i>	≥ 55	≥ 48

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

Assim, para cada parâmetro acústico, segue-se a explicação mais detalhada relativa à escolha das pontuações normalizadas:

- Relativamente ao critério T_R atribuíram-se as pontuações patentes no quadro 3.9, sendo o intervalo de $[0,8 ; 1,0]$ (s) aquele que tem a melhor cotação (20 valores). Esta consideração está de acordo com o gráfico da figura 2.6, que indica que o tempo de reverberação ideal para uma sala destinada à palavra deverá situar-se entre 0,75 e 1,00 segundos, para volumes que vão desde os 100 aos 50000 m³. O *RRAE* (artigo 7º ponto 1 alínea d)) está também de acordo com o que se considerou, pois indica que em salas de aulas o tempo de reverberação deve ser menor ou igual a $0,15 \times V^{1/3}$ (V em m³), o que para salas com volumes entre 150 e 880 m³ (valores da amostra em estudo) equivale a tempos de reverberação entre 0,8 e 1,4 segundos. Para os restantes intervalos de tempos de reverberação, as pontuações foram atribuídas através de considerações empíricas e usando sempre que possível iteração linear.

Quadro 3.9 – Função de valor para o critério *Tempo de reverberação* (T_R).

Tempo de Reverberação T_R (s)	Pontuação
[0,0 ; 0,1[	6
[0,1 ; 0,2[	8
[0,2 ; 0,3[	10
[0,3 ; 0,4[	13
[0,4 ; 0,5[	15
[0,5 ; 0,6[	17
[0,6 ; 0,7[	18
[0,7 ; 0,8[	19
[0,8 ; 1,0[	20
[1,0 ; 1,2[	19
[1,2 ; 1,4[	18
[1,4 ; 1,6[	16
[1,6 ; 1,8[	14
[1,8 ; 2,0[	12
[2,0 ; 2,5[	8
[2,5 ; 3,0[	6
[3,0 ; 3,5[	3
$\geq 3,5$	0

- Para o parâmetro *RASTI* atribuiu-se a cotação de 20 valores ao intervalo [0,90 ; 1,00], e de 0 ao intervalo [0,00 ; 0,10[, já que no *RASTI* o valor de 1 corresponde à máxima inteligibilidade e 0 à nula inteligibilidade. A correlação dos valores foi feita usando, em geral, iteração linear. Contudo, esta iteração não foi puramente linear, já que ao intervalo [0,85 ; 1,00] foram atribuídas cotações superiores àquelas que seriam obtidas por iteração linear. Isto porque considerou-se que os valores de *RASTI* do referido intervalo são valores muito bons e que merecem uma cotação acima daquela que seria obtida por iteração linear. Os restantes intervalos de valores encontram-se normalizados. Estas considerações podem-se visualizar com mais detalhe no quadro 3.10.

Quadro 3.10 - Função de valor para o critério *RASTI*.

<i>RASTI</i> (adimensional)	Pontuação
[0,90 ; 1,00]	20
[0,85 ; 0,90[	19
[0,80 ; 0,85[	18
[0,75 ; 0,80[	16
[0,70 ; 0,75[	15
[0,65 ; 0,70[	14
[0,60 ; 0,65[	13
[0,55 ; 0,60[	12
[0,50 ; 0,55[	11
[0,45 ; 0,50[	10
[0,40 ; 0,45[	8
[0,30 ; 0,40[	6
[0,20 ; 0,30[	4
[0,10 ; 0,20[	2
[0,00 ; 0,10[	0

- No caso do parâmetro $D_{n,w}$ (*salas contíguas*), a atribuição das pontuações foi condicionada pelos limites regulamentares em vigor no *RRAE*. Segundo o artigo 8º, ponto 1 alínea b) do *RRAE* (quadro V do seu anexo), o valor de $D_{n,w}$ do elemento que separa blocos operatórios, gabinetes médicos, (...) de enfermarias e/ou salas de tratamento deve ser no mínimo 40 dB, da mesma forma que entre salas de aulas e/ou de professores (...) e outras salas do mesmo tipo deve ser no mínimo de 45 dB (segundo artigo 7º, ponto 1 alínea b) – quadro II do seu anexo). Por outro lado, no caso de um elemento separador de blocos operatórios, gabinetes médicos (...) e outras salas do mesmo tipo, este valor deverá ser no mínimo de 48 dB (segundo artigo 8º, ponto 1 alínea b)- quadro V do seu anexo), assim como o valor de $D_{n,w}$ no caso de salas polivalentes (...) e outras salas do mesmo tipo deve ser no mínimo de 50 dB. Assim, considerou-se que para valores de $D_{n,w}$ iguais a 40 dB seria atribuída uma cotação de 10 valores por se tratar, de todas as situações possíveis equiparáveis à situação em estudo, aquela que apresenta o valor mínimo. Tomou-se para valores de $D_{n,w}$ iguais a 45 dB a cotação do 15 valores, por ser um valor intermédio. Por fim, para valores de $D_{n,w}$ iguais a 48 dB atribuiu-se a pontuação de 18 valores, por se tratar de um valor muito bom, mas no entanto não ideal, e para valores iguais ou superiores a 50 dB atribuíram-se 20 valores, pois é um valor que está muito acima do mínimo e é idêntico ao do *RRAE* para espaços ruidosos (salas polivalentes). Aos valores intermédios, as cotações foram atribuídas aplicando uma iteração linear. As cotações correspondentes aos valores de $D_{n,w}$ (*salas contíguas*) inferiores a 40 dB decrescem de um valor à medida que se desce na escala, tendo sido a razão para

este facto uma questão de simplicidade e também porque se atinge com 30 dB o valor de 0 (mínimo do *RRAE* para outras situações). Estas pontuações estão visíveis no quadro 3.11.

Quadro 3.11 - Função de valor para o critério $D_{n,w}$ (salas contíguas).

$D_{n,w}$ (salas contíguas) (dB)	Pontuação
≥ 50	20
49	19
48	18
47	17
46	16
45	15
44	14
43	13
42	12
41	11
40	10
39	9
38	8
37	7
36	6
35	5
34	4
33	3
32	2
31	1
≤ 30	0

- Relativamente ao parâmetro $D_{n,w}$ (átrio de entrada) a atribuição de pontuações também foi feita tendo como base os limites regulamentares em vigor no *RRAE*. Assim, segundo o artigo 7º ponto 1 alínea b), o $D_{n,w}$ mínimo entre a sala de aula e um corredor de grande circulação deve ser de 30 dB; da mesma forma que, segundo o artigo 8º ponto 1 alínea b), este mesmo índice deverá ser no mínimo igual a 35 dB entre um bloco operativo, gabinete médico (...), e uma circulação interna. Tomando o mesmo raciocínio do ponto anterior, atribuiu-se a valores de $D_{n,w}$ (átrio de entrada) iguais a 30 dB a pontuação de 10 valores, e a valores de 35 dB a cotação de 19 valores. Tal como se passa para o parâmetro $D_{n,w}$ (entre salas contíguas), aos valores intermédios de 30 e 35 dB as cotações foram

atribuídas aplicando uma iteração linear, e as cotações correspondentes aos valores inferiores a 30 dB decrescem de um valor à medida que se desce na escala, por uma questão de simplicidade. As pontuações estão visíveis no quadro 3.12.

Quadro 3.12 - Função de valor para o critério $D_{n,w}$ (átrio entrada).

$D_{n,w}$ (átrio de entrada) (dB)	Pontuação
≥ 36	20
35	19
34	18
33	16
32	14
31	12
30	10
29	9
28	8
27	7
26	6
25	5
24	4
23	3
22	2
21	1
≤ 20	0

- Relativamente ao parâmetro $D_{2m,n,w}$, as pontuações foram atribuídas tendo também como base o disposto no *RRAE*. Assim, tanto para edifícios escolares como para edifícios hospitalares, o *RRAE* estipula (de acordo com o artigo 7º ponto 1 alínea a)), que em zonas sensíveis o valor de $D_{2m,n,w}$ deve ser maior ou igual a 28 dB e, em zonas mistas este valor deve ser maior ou igual a 33 dB. Posto isto, atribuiu-se ao valor de 28 dB a cotação de 10 valores, por se tratar do valor de $D_{2m,n,w}$ mínimo requerido para uma zona sensível, ou seja, uma zona calma e pouco sujeita a ruídos exteriores. Por outro lado, atribuiu-se ao valor de 33 dB a pontuação de 19 valores por se tratar do mínimo valor (e não do ideal) de $D_{2m,n,w}$ requerido numa zona mista, ou seja uma zona que está sujeita a ruídos exteriores não desprezáveis. Assim como acontece para outros parâmetros acústicos, aos valores intermédios de 28 e 33 dB as cotações foram atribuídas aplicando uma iteração linear, e as cotações correspondentes aos valores inferiores a 28 dB decrescem de um valor à medida que se desce na escala, por uma questão de simplicidade. As pontuações estão visíveis no quadro 3.13.

Quadro 3.13 - Função de valor para o critério $D_{2m,n,w}$.

$D_{2m,n,w}$ (dB)	Pontuação
≥ 34	20
33	19
32	18
31	16
30	14
29	12
28	10
27	9
26	8
25	7
24	6
23	5
22	4
21	3
20	2
19	1
≤ 18	0

3.5.2. COMPOSIÇÃO NO PARÂMETRO $RASTI$

O valor do desempenho da *alternativa* a_i (uma dada sala de tribunal) conforme o *critério* $RASTI$ ($C_{RASTI}(a_i)$) é composto por duas componentes:

- uma correspondente ao seu desempenho conforme o valor médio do parâmetro $RASTI$ quando a fonte sonora se encontra na posição do juiz, voltada para o público ($RASTI_J$);
- e outra correspondente ao valor quando a fonte sonora se encontra na posição do réu, voltada para o juiz ($RASTI_R$) .

Este valor é obtido através da seguinte expressão:

$$C_{RASTI}(a_i) = p_{RASTI_J} \times C_{RASTI_J}(a_i) + p_{RASTI_R} \times C_{RASTI_R}(a_i)$$

sendo:

$C_{RASTI}(a_i) \rightarrow$ valor do desempenho da *alternativa* a_i conforme o *critério* $RASTI$ (global);

$C_{RASTI_J}(a_i) \rightarrow$ valor do desempenho da *alternativa* a_i conforme o *critério* $RASTI_J$ (J- fonte sonora na posição do juiz);

$C_{RASTI_R}(a_i) \rightarrow$ valor do desempenho da *alternativa* a_i conforme o *critério* $RASTI_R$ (R- fonte sonora na posição do réu);

$p_{RASTI_J} \rightarrow$ *peso* atribuído ao *critério* $RASTI_J$;

$p_{RASTI_R} \rightarrow$ *peso* atribuído ao *critério* $RASTI_R$.

Os *pesos* foram distribuídos com base em pressupostos puramente subjectivos, devido ao facto de não existirem estudos que demonstrem a maior ou menor importância que a audiência atribui ao discurso do juiz ou do réu. Usando algum bom senso, considerou-se que se deveria dar uma importância relativamente maior à inteligibilidade do discurso do juiz, por se tratar do órgão decisor e impositor numa sala de audiência de tribunal. Os *pesos* foram então distribuídos do seguinte modo: 60% para a inteligibilidade da palavra do juiz e 40% para a inteligibilidade do discurso do Réu, como se pode observar na expressão seguinte:

$$C_{RASTI}(a_i) = 0,6 \times C_{RASTI_J}(a_i) + 0,4 \times C_{RASTI_R}(a_i)$$

3.5.2. COMPOSIÇÃO NO PARÂMETRO ÍNDICES DE ISOLAMENTO SONORO A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA NORMALIZADOS $D_{n,w}$ E $D_{2m,n,w}$

O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea é composto por duas componentes, uma relativa ao isolamento com o interior (com o átrio de entrada do tribunal e com outras salas contíguas) $D_{n,w} (interior)$, e outra relativa ao isolamento exterior (fachada) $D_{2m,n,w}$:

- O valor do desempenho da *alternativa* a_i conforme o *critério* $D_{n,w} (interior)$ é um valor ponderado, que inclui os desempenhos da mesma *alternativa* relativamente aos valores correspondentes aos índices de isolamento sonoro a sons aéreos entre a sala estudada e o átrio de entrada e salas contíguas ($D_{n,w} (átrio)$ e $D_{n,w} (salas contíguas)$), dado pela expressão:

$$C_{D_{n,w} (interior)}(a_i) = p_{D_{n,w} (salas contíguas)} \times C_{D_{n,w} (salas contíguas)}(a_i) + p_{D_{n,w} (átrio)} \times C_{D_{n,w} (átrio)}(a_i)$$

sendo:

$C_{D_{n,w} (interior)}(a_i) \rightarrow$ valor do desempenho da *alternativa* a_i conforme o *critério* $D_{n,w} (interior)$ (isolamento global com locais interiores contíguas).

$C_{D_{n,w} (salas contíguas)}(a_i) \rightarrow$ valor do desempenho da *alternativa* a_i conforme o *critério* $D_{n,w} (salas contíguas)$ (isolamento com as salas contíguas).

$C_{D_{n,w} (átrio)}(a_i) \rightarrow$ valor do desempenho da *alternativa* a_i conforme o *critério* $D_{n,w} (átrio)$ (isolamento com o átrio).

$p_{D_{n,w}(\text{salascontíguas})} \rightarrow$ peso atribuído ao critério $D_{n,w}(\text{salas contíguas})$.

$p_{D_{n,w}(\text{átrio})} \rightarrow$ peso atribuído ao critério $D_{n,w}(\text{átrio})$.

Assim como no caso anterior (*RASTI*), os pesos foram distribuídos com base em pressupostos subjectivos, pois não se conhecem estudos que demonstrem a maior ou menor importância que a audiência atribui ao ruído proveniente das salas contíguas e do átrio de entrada das salas de audiências. Considerou-se que se deveria dar uma importância maior ao valor de $C_{D_{n,w}(\text{átrio})}$, pois existe mais ruído no átrio de entrada da sala de audiência do que nas salas contíguas. Além disso, há que considerar a porta de entrada da sala como um adicional ponto fraco do isolamento sonoro. Tendo estes factos em consideração, atribuí-se um peso aos de 80% para $C_{D_{n,w}(\text{átrio})}$ e de 20% para $C_{D_{n,w}(\text{salascontíguas})}$, como se pode observar na expressão seguinte:

$$C_{D_{n,w}(\text{interior})}(a_i) = 0,2 \times C_{D_{n,w}(\text{salascontíguas})}(a_i) + 0,8 \times C_{D_{n,w}(\text{átrio})}(a_i)$$

- $D_{2m,n,w}$ é o índice de isolamento sonoro a sons aéreos entre a sala estudada e o exterior do edifício (fachada), e o valor do desempenho de qualquer alternativa a_i conforme este parâmetro é representado pelo valor $C_{D_{2m,n,w}}(a_i)$.

3.5 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MULTI-CRITÉRIO NESTE ESTUDO

O *Parâmetro Global de Análise Acústica* $PGAA(a_i)$ respeitante a cada sala de audiência é uma função semelhante à função $v(a_i)$ atrás referida, que mede o “valor” de cada alternativa relativamente à qualidade acústica. Esta função é dependente dos critérios de decisão, que estão representados pelos parâmetros acústicos também atrás referidos. Naturalmente que uns critérios pesam mais na análise acústica global do que outros e, sendo assim, o desempenho da alternativa a_i conforme o j -ésimo critério é multiplicado por um determinado peso, p_{c_j} . Uma condição fundamental e natural é a de que a soma de todos os pesos seja igual à unidade. Assim, para cada alternativa a_i , o $PGAA(a_i)$ é determinado pela seguinte expressão:

$$PGAA(a_i) = p_{T_R} \times C_{T_R}(a_i) + p_{D_{n,w}(\text{interior})} \times C_{D_{n,w}(\text{interior})}(a_i) + p_{D_{2m,n,w}} \times C_{D_{2m,n,w}}(a_i) + p_{RASTI} \times C_{RASTI}(a_i)$$

sendo:

$C_{T_R}(a_i) \rightarrow$ valor do desempenho da alternativa a_i conforme o critério T_R ;

$C_{D_{n,w}(\text{interior})}(a_i) \rightarrow$ valor do desempenho da alternativa a_i conforme o critério $D_{n,w}(\text{interior})$;

$C_{D_{2m,n,w}}(a_i) \rightarrow$ valor do desempenho da alternativa a_i conforme o critério $D_{2m,n,w}$;

$C_{RASTI}(a_i) \rightarrow$ valor do desempenho da alternativa a_i conforme o critério *RASTI*;

$p_{T_R} \rightarrow$ peso atribuído ao critério T_R ;

$p_{D_{n,w}(\text{interior})} \rightarrow$ peso atribuído ao critério $D_{n,w}(\text{interior})$;

$p_{D_{2m,n,w}} \rightarrow$ peso atribuído ao critério $D_{2m,n,w}$;

$p_{RASTI} \rightarrow$ peso atribuído ao critério $RASTI$.

Tal como no caso das expressões que conduziram aos valores de C_{RASTI} e $C_{D_{n,w}(\text{interior})}$, a distribuição dos pesos na expressão de $PGAA(a_i)$ foi feita de um modo subjectivo, apoiado em algum bom senso, devido ao facto de não existirem ainda estudos que demonstrem a importância relativa que a audiência atribui a cada parâmetro acústico.

Posto isto, foram atribuídas diferentes importâncias a cada critério pelos motivos que a seguir se seguem:

- Achou-se conveniente atribuir o maior peso ao valor de C_{T_R} , pois como já se referiu anteriormente, o T_R é talvez o parâmetro mais usado e mais generalista no que respeita à caracterização acústica de uma sala, sendo uma medida que dá indicações acerca de muitas propriedades acústicas assim como: inteligibilidade da palavra; reverberância; ruído de fundo; etc. Por estes motivos atribuiu-se o peso de 50% a C_{T_R} .
- Relativamente ao parâmetro $C_{D_{n,w}(\text{interior})}$, atribuiu-se um peso de 20%, pois trata-se de um critério com bastante importância, pois quantifica a influência do isolamento sonoro interior (entre a sala de audiência e outras salas contíguas assim como entre a mesma e o átrio de entrada). É um critério importante na medida em que uma sala mal isolada dos outros espaços interiores do edifício (especialmente do átrio de entrada) acarreta problemas tais como aumento do ruído de fundo e diminuição da inteligibilidade da palavra.
- Quanto ao parâmetro $C_{D_{2m,n,w}}$, foi atribuído um peso de 10%. O motivo de se ter atribuído tal valor e não um valor superior deve-se ao facto de ser um parâmetro de importância menor relativamente ao isolamento sonoro com o interior. No entanto, não é um factor a desprezar especialmente em salas situadas à face de uma rua com muito movimento.
- Finalmente, no que respeita ao parâmetro C_{RASTI} , atribuiu-se um peso de 20%. De facto é um parâmetro acústico de singular importância pois caracteriza objectivamente a inteligibilidade da palavra. E a inteligibilidade da palavra é, de facto, a característica mais importante a verificar numa sala destinada à palavra. Não foi dada importância maior a este parâmetro porque: em 1º lugar é um indicador muito restrito e que caracteriza unicamente a inteligibilidade da palavra; em 2º lugar porque a inteligibilidade da palavra é dependente de um conjunto de características acústicas tais como a reverberância, nível de intensidade sonora da palavra, distância ao locutor, e o ruído de fundo, que estão directamente relacionadas com outros parâmetros acústicos (tais como T_R ou $D_{n,w}(\text{interior})$).

Então, a fórmula de $PGAA(a_i)$ final transforma-se na equação seguinte:

$$PGAA(a_i) = 0,5.C_{T_R}(a_i) + 0,2.(0,2.C_{D_{n,w}(salascont.)}(a_i) + 0,8.C_{D_{n,w}(átvio)}(a_i)) + 0,1.C_{2m,n,w}(a_i) + 0,2.(0,6.C_{RASTI_J}(a_i) + 0,4.C_{RASTI_R}(a_i))$$

4

APLICAÇÃO DO MÉTODO

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada a aplicação do método explicitado no capítulo anterior. São apresentados todos os dados disponíveis da amostra (descrição e caracterização das salas). São depois apresentados os parâmetros arquitectónicos e parâmetros acústicos objectivos utilizados; e finalmente os valores dos índices de isolamento sonoro a sons aéreos.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Todas as salas de audiências usadas neste estudo, assim como os valores de todos os parâmetros referidos em seguida são retirados do estudo “Caracterização acústica de salas de audiências de tribunais” de Carlos Aquino Monteiro (2003). A sala de tribunal da comarca de Nelas, embora seja uma das salas estudadas no anterior estudo, não entrou no presente trabalho, devido a falta de dados relativos ao parâmetro acústico *RASTI*.

A amostra é constituída por salas de audiências de tribunais que se localizam nos círculos judiciais na zona centro do País, onde estão representadas percentagens significativas de salas de construção anterior à década de 1990 assim como salas de construção mais recente. Esta amostra representa uma percentagem de cerca de 10% de todas as comarcas existentes a nível nacional, e a sua localização geográfica está representada nas figuras 4.1 e 4.2.

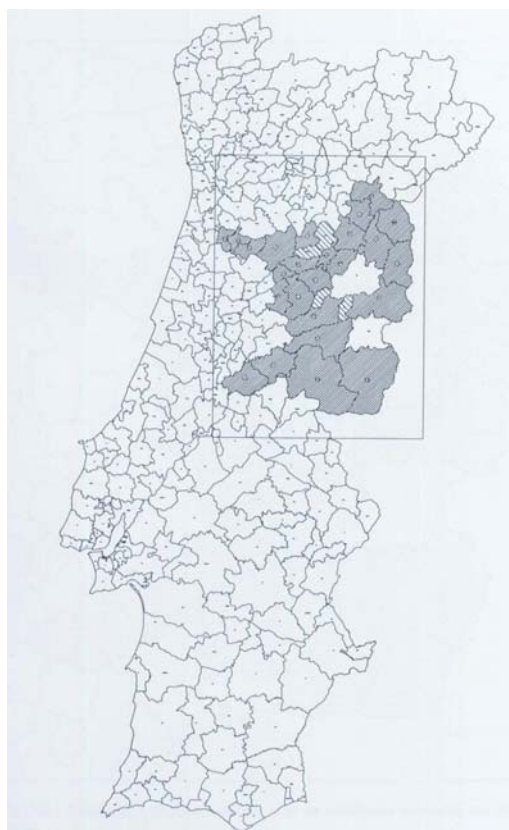


Figura 4.1 – Localização de cada uma das salas da amostra em relação ao País [5].

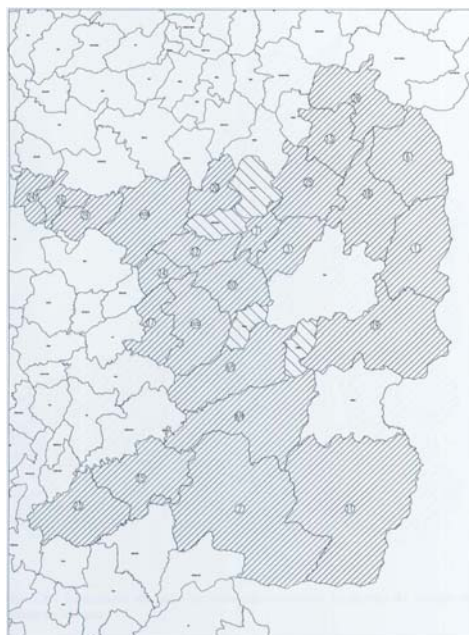


Figura 4.2 – Localização de cada uma das salas da amostra em relação à região [5].

No quadro 4.1 estão representadas as origens das salas da amostra quanto à comarca a que pertencem, ao círculo judicial e ao ano ou década de construção. No quadro 4.2 apresenta-se uma descrição resumida das salas da amostra quanto ao tipo de revestimentos no tecto, pavimento e paredes, descrição do mobiliário, o número de cadeiras e de bancos, e algumas observações relevantes de cada uma. Nas figuras 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6 estão também representadas fotografias de quatro salas de amostra de vinte e oito salas.

Quadro 4.1 – Listagem e caracterização das salas de audiência [5].

Alternativa	Sala de audiência (Comarca)	Círculo Judicial	Ano ou década de construção	Cadeiras (lugares)	Bancos (lugares)
a_1	Almeida	Guarda	1990	12	40
a_2	Castelo Branco	Castelo Branco	1960	16	170
a_3	Celorico da Beira	Seia	1961	12	85
a_4	Covilhã (Sala 1)	Covilhã	Fim da déc. 60	17	120
a_5	Covilhã (Sala 2)	Covilhã	1995	11	50
a_6	Figueira de Castelo Rodrigo	Guarda	1971	12	60
a_7	Fornos de Algodres	Seia	1997	10	55
a_8	Fundão (Sala 1)	Covilhã	1999	12	85
a_9	Fundão (Sala 2)	Covilhã	1999	12	85
a_{10}	Gouveia	Seia	1966	11	90
a_{11}	Idanha-a-Nova	Castelo Branco	1962	11	90
a_{12}	Mangualde	Viseu	1946	21	35
a_{13}	Mêda	Guarda	2000	12	90
a_{14}	Oleiros	Castelo Branco	Déc. 70	18	35
a_{15}	Oliveira de Frades	Viseu	1997	12	30
a_{16}	Oliveira do Hospital	Seia	Déc. 60	12	45
a_{17}	Pinhel	Guarda	1971	17	55
a_{18}	Sabugal	Covilhã	1965	13	55
a_{19}	Sátão	Viseu	1954	21	65
a_{20}	Seia (Sala 1)	Seia	1998	13	55

a_{21}	Seia (Sala 2)	Seia	1998	13	65
a_{22}	Sertã	Castelo Branco	1993	11	60
a_{23}	Sever do Vouga	Aveiro	2001	9	34
a_{24}	Trancoso	Guarda	1970	12	70
a_{25}	Vila Nova de Foz Côa	Guarda	1992	27	70
a_{26}	Viseu (Sala 1)	Viseu	1954	16	90
a_{27}	Viseu (Sala 2)	Viseu	1994	9	27
a_{28}	Vouzela	Viseu	1991	9	80

Quadro 4.2 – Descrição resumida das salas de audiências estudadas [5].

Alternativa	Tecto	Pavimento	Paredes	Mobiliário	Portas (Janelas)	Observações
a_1	Madeira Estuque	Madeira Alcatifa	Madeira Estuque	Madeira Liso	4 (4)	Janelas com portadas interiores
a_2	Falso Estuque	Mosaico Alcatifa	Madeira Reboco Mármore	Madeira Clássico	6 (5)	
a_3	Reboco	Madeira Alcatifa	Madeira Reboco Tela tecido	Madeira Clássico	5 (5)	Janelas com portadas interiores
a_4	Falso Gesso Vidro	Mosaico Alcatifa	Madeira Reboco	Madeira Clássico	6	
a_5	Falso Gesso	Madeira Alcatifa	Reboco pré-- fabricado	Madeira Almofadado	3 (2)	Divisórias pré- fabricadas em alumínio
a_6	Madeira	Madeira Alcatifa	Reboco Madeira	Madeira Clássico	5 (6)	Janelas com portadas interiores
a_7	Estuque Vidro	Mosaico Alcatifa	Madeira Estuque	Fibras Madeira	5	
a_8	Estuque Falso Acrílico	Madeira Granito Alcatifa	Granito Madeira Estuque	Madeira Liso Pele	4	
a_9	Estuque Falso	Madeira Granito Alcatifa	Granito Madeira Estuque	Madeira Liso Pele	4	
a_{10}	Estuque	Madeira Alcatifa	Estuque Madeira	Madeira Clássico	6 (4)	Alcatifa muito espessa

			Tela tecido			Cortinados em tecido grosso Porta principal com antecâmara em vidro pelo interior Janelas com portadas interiores
a_{11}	Reboco	Madeira	Reboco Madeira Tela tecido	Madeira Clássico	3 (4)	Janelas com portadas interiores
a_{12}	Estuque	Madeira Alcatifa	Estuque Madeira Tela tecido	Madeira Clássico	4 (5)	Janelas com portadas interiores
a_{13}	Reboco	Madeira Alcatifa	Madeira Reboco	Madeira Liso	5 (5)	
a_{14}	Estuque	Madeira Alcatifa	Reboco Madeira	Madeira Almofadado	3 (5)	
a_{15}	Falso	Parquet Alcatifa	Estuque Madeira	Madeira Liso Pele	3 (4)	Tecto falso em placas metálicas perfuradas Alcatifa muito fina
a_{16}	Madeira Vidro	Madeira Alcatifa	Placas revestidas	Madeira Muito Liso	6	Placas revestidas tipo “cortisã” Mobiliário tipo platex
a_{17}	Madeira	Madeira Alcatifa	Madeira Reboco Tela tecido	Madeira Clássico	5 (5)	Janelas com portadas interiores
a_{18}	Madeira	Madeira Alcatifa	Madeira Reboco Tela	Madeira Clássico	3 (5)	Janelas com portadas interiores
a_{19}	Estuque	Madeira Alcatifa	Estuque Reposteiros Madeira	Madeira Clássico	6 (4)	Reposteiros em tecido grosso Janelas com portadas interiores
a_{20}	Reboco	Madeira	Madeira Reboco	Madeira Liso	3	Paredes em painéis de madeira lisa
a_{21}	Reboco	Madeira	Madeira Reboco	Madeira Liso	3	Paredes em painéis de madeira lisa
a_{22}	Falso	Madeira Alcatifa	Estuque	Madeira	4 (5)	Tecto falso em gesso cartonado Janelas com portadas interiores
a_{23}	Falso	Madeira Alcatifa	Estuque Madeira	Madeira Liso Almofadado	3 (3)	Tecto falso em gesso cartonado Mobiliário muito liso e cadeiras

						almofadadas
a_{24}	Reboco	Madeira Alcatifa	Reboco Madeira	Madeira Clássico	3 (5)	Janelas com portadas interiores
a_{25}	Estuque	Madeira Alcatifa	Estuque	Madeira Liso	3 (2)	
a_{26}	Reboco	Madeira Alcatifa	Reboco Madeira	Madeira Clássico	5 (5)	Janelas com portadas interiores
a_{27}	Reboco	Madeira Alcatifa	Reboco	Madeira Liso Pele	2 (3)	Janelas com portadas interiores
a_{28}	Reboco	Madeira Alcatifa	Madeira Reboco	Madeira Liso	6	Reboco com boa característica absorvente Paredes em madeira afastadas entre si 7 mm com material com boas características absorventes na caixa-de-ar



Fig 4.3 – Sala de audiência do tribunal de vouzela [5].



Fig 4.4 – Sala de audiência do tribunal de Celorico da Beira [5].



Fig 4.5 - Sala de audiência do tribunal de Covilhã [5].



Fig 4.6 - Sala de audiência do tribunal de Seia [5].

4.3. PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS

Os parâmetros arquitectónicos utilizados relativos às salas em estudo são os sete seguintes:

- *Volume total* (V) (m^3) – volume da sala incluindo o volume das reentrâncias das portas e janelas (excluindo o volume da habitual elevação do pavimento da parte superior da sala, mas não excluindo o volume do mobiliário);
- *Superfície de pavimento* (S) (m^2) - área de todo o pavimento horizontal da sala, ou seja área da sala incluindo reentrâncias das portas;
- *Altura média* (H) (m) – Obtida através de *volume total* a dividir pela área total;
- *Comprimento médio* (L) (m) – obtido através do valor médio dos comprimentos na direcção longitudinal da sala perpendicular à mesa do juiz (que em muitos casos é um valor único);
- *Largura média* (W) (m) – obtido através do valor médio das larguras (que em muitos casos é um valor único);
- *Área de absorção sonora* (A) (m^2) – obtida através do cálculo matemático a partir dos coeficientes de absorção sonora médios para as bandas de frequência dos 500 e 1000 Hz de todas as superfícies envolventes (não considerando o efeito do ar);
- *Número de lugares sentados* (N) – obtido através da observação *in situ*, admitindo 50 cm por lugar no caso de bancos corridos (este número de lugares está unicamente relacionado com os lugares de plateia, réus e testemunhas).

Estes valores referentes à amostra em questão estão representados no quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Valores obtidos para os parâmetros arquitectónicos para cada sala [5].

Alt.	Sala	V (m ³)	S (m ²)	H (m)	L (m)	W (m)	A (m ²)	N
a_1	Almeida	208	67	3,10	9,6	7,00	29,9	40
a_2	Castelo Branco	878	172	5,10	15,1	11,40	31,0	170
a_3	Celorico da Beira	516	101	5,10	13,5	7,50	38,7	85
a_4	Covilhã (sala 1)	880	173	5,10	15,0	11,50	121,4	120
a_5	Covilhã (sala 2)	169	59	2,85	8,3	7,15	78,2	50
a_6	Figueira de Castelo Rodrigo	484	103	4,70	14,3	7,20	31,4	60
a_7	Fornos de Algodres	441	100	4,40	11,4	8,80	35,8	55
a_8	Fundão (sala 1)	478	107	4,45	11,3	9,50	47,3	85
a_9	Fundão (sala 2)	397	107	3,70	11,3	9,50	46,5	85
a_{10}	Gouveia	424	115	3,70	15,5	7,40	67,2	90
a_{11}	Idanha-a-Nova	719	153	4,70	15,0	10,20	30,2	90
a_{12}	Mangualde	707	120	5,90	14,1	8,50	38,5	35
a_{13}	Meda	331	95	3,50	13,7	6,90	68,8	90
a_{14}	Oleiros	195	71	2,75	9,7	7,30	25,9	35
a_{15}	Oliveira de Frades	374	98	3,80	11,3	8,70	96,8	30
a_{16}	Oliveira do Hospital	416	109	3,80	12,3	8,90	94,2	45
a_{17}	Pinhel	468	104	4,50	13,0	8,00	40,8	55
a_{18}	Sabugal	469	92	5,10	11,5	8,00	28,7	55
a_{19}	Sátão	256	83	3,10	13,1	6,30	39,9	65
a_{20}	Seia (Sala 1)	508	107	4,75	11,5	9,30	30,6	55
a_{21}	Seia (Sala 2)	574	121	4,75	13,0	9,30	32,9	65
a_{22}	Sertão	662	97	6,85	10,5	9,20	80,5	60
a_{23}	Sever do Vouga	150	50	3,00	10,0	5,00	52,1	24
a_{24}	Trancoso	416	113	3,70	12,5	9,00	25,8	70
a_{25}	Vila Nova de Foz Côa	276	89	3,10	13,1	6,80	23,1	70
a_{26}	Viseu (Sala 1)	560	111	5,05	15,2	7,30	31,1	90
a_{27}	Viseu (Sala 2)	156	46	3,40	8,8	5,20	25,1	27
a_{28}	Vouzela	343	116	2,95	11,3	10,30	121,5	80

4.4. PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJECTIVOS

Os parâmetros acústicos da amostra em estudo utilizados neste estudo são os seguintes:

- **Tempo de reverberação** T_R (s) – intervalo de tempo correspondente a uma redução de energia de 1.000.000:1 W/m^2 , o mesmo que um abaixamento do nível de intensidade sonora de 60 dB.
- **RASTI** (*Rapid Speech Transmission Index*) – método de medir objectivamente a inteligibilidade da palavra.

Os parâmetro acústico objectivo *tempo de reverberação* TR foi avaliado através da média de posições pré-definidas localizadas de igual forma, sendo estas posições em geral oito; fonte localizada na secretária do juiz, e oito pontos (cinco em quincôncio e os outros três, um situado no lugar do réu, os outros situados no lugar dos advogados). A fonte sonora estava localizada a uma altura do pavimento de 1,20 m no lugar do juiz (juiz sentado) [Monteiro, 2003]. Na figura 4.7 esquematiza-se a localização da fonte sonora e distribuição dos pontos de medição. Estes parâmetros acústicos objectivos foram medidos nas bandas de frequências 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz, no entanto os dados usados neste estudo são referentes ao valor médio, nas bandas de frequência dos 500 e 1000 Hz, pois foi demonstrado serem estas as bandas de frequências onde existiam melhores correlações entre parâmetros e também devido ao facto de a média de valores obtidos nestas bandas de frequências serem as mais representativas.

O parâmetro *RASTI* foi avaliado através da média de posições pré-definidas localizadas de igual forma, sendo estas posições em geral oito (8x3), para a fonte sonora localizada na secretária do juiz, (cinco em quincôncio e os outros três, um situado no lugar do réu, os outros situados no lugar dos advogados), os outros oito (8x3), fonte no lugar do réu (cinco em quincôncio e os outros três, um situado no lugar do juiz, os outros situados no lugar dos advogados). A fonte sonora estava localizada a uma altura do pavimento de 1,20 m no lugar do juiz (juiz sentado) e a uma altura do pavimento de 1,50 m (réu de pé) (Monteiro, 2003). Nas figuras 4.8 e 4.9 estão representadas as posições da fonte sonora e dos pontos de medição para avaliação dos parâmetros $RASTI_j$ e $RASTI_R$, respectivamente.

O parâmetro acústico objectivo TR foi medido nas condições de sala de audiência sem actividade, estando todo o mobiliário nas condições e posições habituais de utilização; persianas, cortinas e portas fechadas; equipamentos desligados, nomeadamente ar condicionado; permanecendo apenas o operador no interior da sala no decorrer do ensaio (Monteiro, 2003).

No quadro 4.4 estão representados os valores médios dos parâmetros acústicos objectivos em cada sala de audiências.

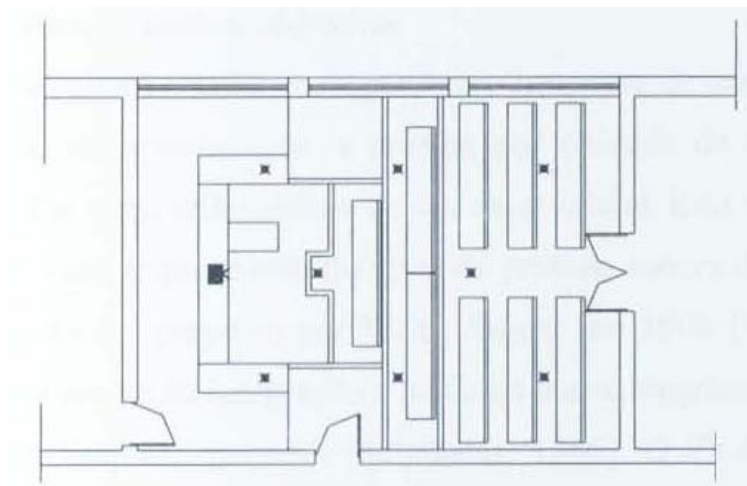


Figura 4.7 - Posicionamento da fonte sonora e respectivos pontos de medição para avaliação do parâmetro acústico TR [5].

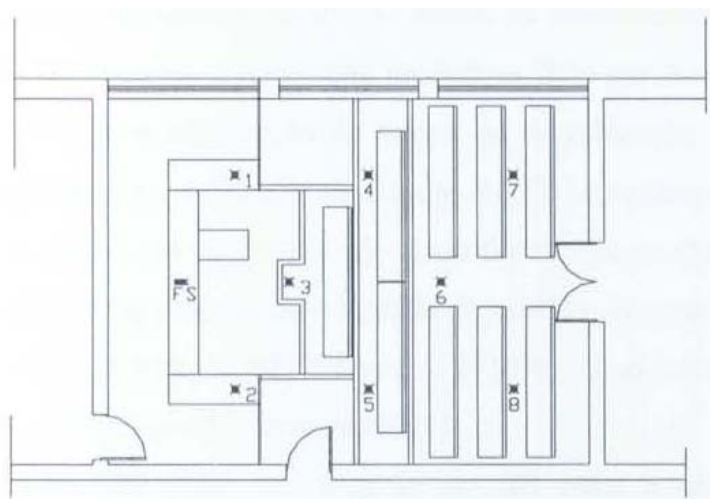


Figura 4.8 - Posicionamento da fonte sonora e respectivos pontos de medição para avaliação do parâmetro $RASTI_L$ [5].

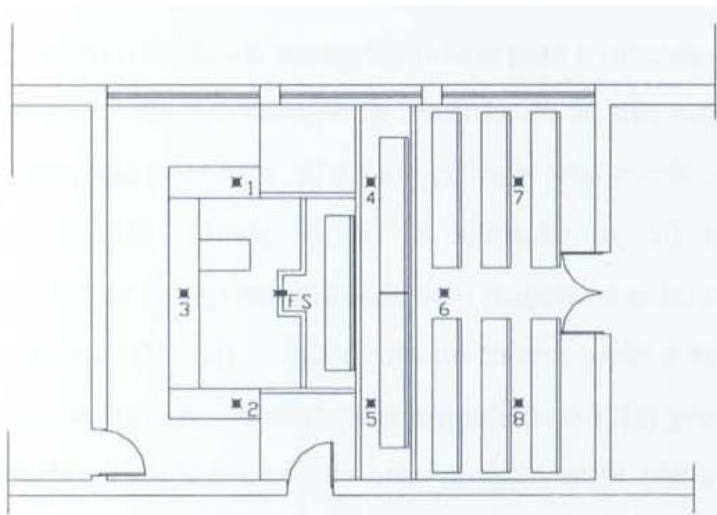


Figura 4.9 - Posicionamento da fonte sonora e respectivos pontos de medição para avaliação do parâmetro $RASTI_R$ [5].

Quadro 4.4 - Valores médios dos parâmetros acústicos medidos em cada sala de audiências [5].

Alternativa	Sala	TR (*) (s)	RASTI
a_1	Almeida	0,97	0,60
a_2	Castelo Branco	1,96	0,49
a_3	Celorico da Beira	1,51	0,47
a_4	Covilhã (sala 1)	3,55	0,39
a_5	Covilhã (sala 2)	1,31	0,55
a_6	Figueira de Castelo Rodrigo	1,21	0,57
a_7	Fornos de Algodres	2,46	0,42
a_8	Fundão (sala 1)	1,38	0,54
a_9	Fundão (sala 2)	1,32	0,54
a_{10}	Gouveia	1,13	0,56
a_{11}	Idanha-a-Nova	2,54	0,42
a_{12}	Mangualde	1,94	0,49
a_{13}	Meda	1,51	0,52
a_{14}	Oleiros	0,96	0,61
a_{15}	Oliveira de Frades	0,90	0,67
a_{16}	Oliveira do Hospital	0,84	0,65
a_{17}	Pinhel	1,46	0,55
a_{18}	Sabugal	2,43	0,46
a_{19}	Sátão	0,85	0,63
a_{20}	Seia (Sala 1)	1,88	0,47
a_{21}	Seia (Sala 2)	1,85	0,46
a_{22}	Sertão	2,57	0,40
a_{23}	Sever do Vouga	1,06	0,62
a_{24}	Trancoso	1,40	0,52
a_{25}	Vila Nova de Foz Côa	1,74	0,49
a_{26}	Viseu (Sala 1)	1,93	0,48
a_{27}	Viseu (Sala 2)	1,09	0,59
a_{28}	Vouzela	0,46	0,75

(*) valor médio, nas bandas de frequências dos 500 e 1000 Hz.

4.5. ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA

A avaliação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado, da parede de separação com o átrio de entrada da sala foi executada através da média das seis posições exteriores, distribuídas uniformemente no espaço da parede, e ainda da média das seis posições interiores, distribuídas uniformemente no espaço da parede (fonte sonora localizada a uma distância aproximadamente de 2 m, centrada e dirigida para a porta principal, no lado de fora da sala). A figura 4.10 mostra a localização da fonte sonora e dos doze pontos de medição [Monteiro, 2003].

As medições foram realizadas de acordo com a normalização e legislação aplicável, com espaçamentos de 1/1 oitava, com início na frequência de 125 Hz e fim na frequência de 2000 Hz. O isolamento sonoro $D_{n,w}$ (átrio de entrada) (dB), foi medido nas condições de sala de audiência sem actividade, estando todo o mobiliário nas condições e posições habituais de utilização; persianas, cortinas e portas fechadas; equipamentos desligados, nomeadamente ar condicionado; permanecendo apenas o operador no interior da sala no decorrer do ensaio [Monteiro, 2003].

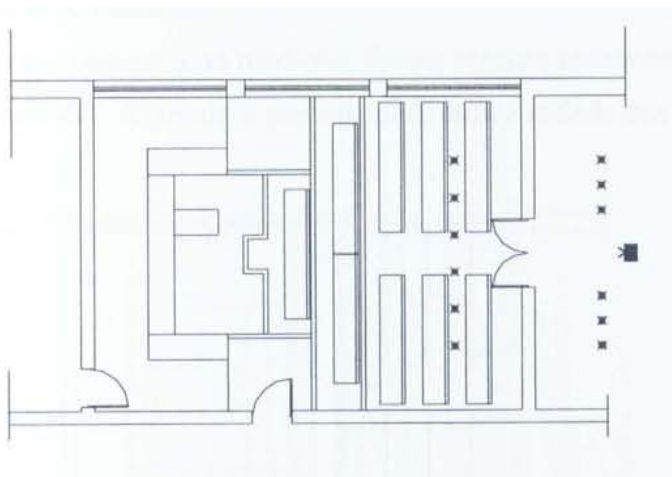


Figura 4.10 - Avaliação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede de separação com o átrio de entrada, normalizado, posicionamento da fonte sonora e respectivos doze pontos de medição [5].

Quadro 4.5 - Valores do índice de isolamento sonoro a sons aéreos normalizado, $D_{n,w}$, da parede de separação entre a sala audiências e o átrio de entrada contíguo [5].

Alternativa	Salas	$D_{n,w}$ (átrio de entrada) (dB)
a_1	Almeida	18
a_2	Castelo Branco	20
a_3	Celorico da Beira	22
a_4	Covilhã (sala 1)	23
a_5	Covilhã (sala 2)	22
a_6	Figueira de Castelo Rodrigo	23
a_7	Fornos de Algodres	23
a_8	Fundão (sala 1)	23
a_9	Fundão (sala 2)	23
a_{10}	Gouveia	30
a_{11}	Idanha-a-Nova	19
a_{12}	Mangualde	23
a_{13}	Meda	21
a_{14}	Oleiros	18
a_{15}	Oliveira de Frades	24
a_{16}	Oliveira do Hospital	17
a_{17}	Pinhel	22
a_{18}	Sabugal	24
a_{19}	Sátão	20
a_{20}	Seia (Sala 1)	19
a_{21}	Seia (Sala 2)	20
a_{22}	Sertão	22
a_{23}	Sever do Vouga	20
a_{24}	Trancoso	21
a_{25}	Vila Nova de Foz Côa	18
a_{26}	Viseu (Sala 1)	25
a_{27}	Viseu (Sala 2)	27
a_{28}	Vouzela	23

5

RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTI-CRITÉRIO À AMOSTRA

Nos quadros 5.1 e 5.2 apresentam-se os resultados da aplicação do método multi-critério (cujas considerações e formulação estão patentes no capítulo terceiro), à amostra de salas de audiências, referida no capítulo quarto.

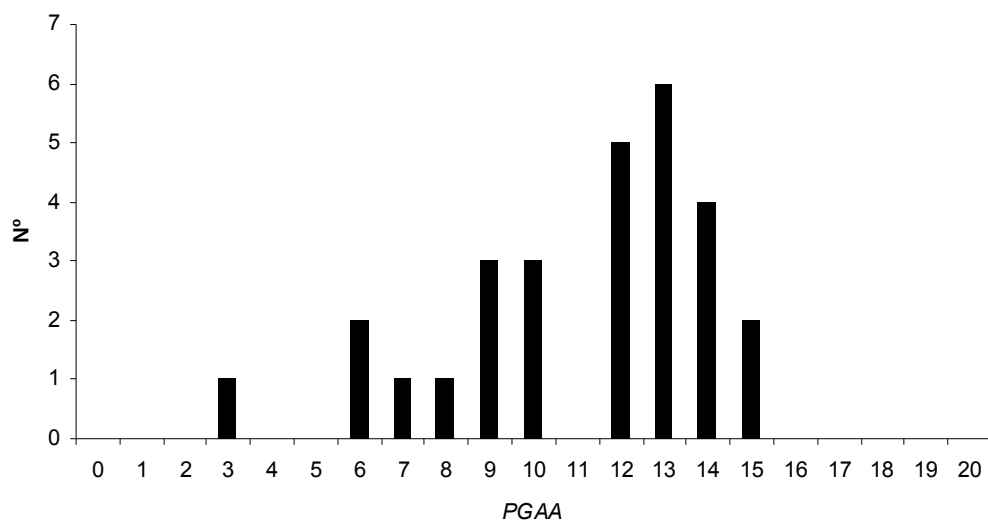
No quadro 5.1 apresenta-se uma análise estatística sumária, onde constam as principais constantes estatísticas de cada grupo de valores – valor mínimo, médio, máximo e mediana. No quadro 5.2 podem-se observar os resultados obtidos pela aplicação do algoritmo multi-critério à amostra de salas de audiências de tribunais, sendo possível observar o desempenho de cada alternativa a_i (ou sala de audiência) conforme todos os critérios usados neste problema, assim como o desempenho de modo geral, através do parâmetro global de análise acústica $PGAA$.

De salientar os valores referentes ao parâmetro global de análise acústica $PGAA$ das comarcas de Covilhã (sala 1), Gouveia e Oliveira de Frades estarem marcados a negrito por serem os valores mais baixos (Covilhã (sala 1)) e mais altos (Gouveia e Oliveira de Frades) de todo o conjunto de valores obtidos.

Também se pode visualizar a distribuição dos valores de $PGAA$, C_{T_R} , C_{RASTI_J} , C_{RASTI_R} , C_{RASTI} , $C_{D_{n,w}(\text{átrio})}$ segundo as frequências (Nºs) obtidas, nos Histogramas respectivos, nas Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6.

Quadro 5.1 – Quadro estatístico sumário dos valores de cada critério e de $PGAA$.

Parâmetros	Valor			
	Mínimo	Médio	Mediano	Máximo
$PGAA$	3	11,2	11,2	15
$c_{T_R}(a_i)$	0	14,6	16	20
$c_{RASTI_J}(a_i)$	6	10,9	11	15
$c_{RASTI_R}(a_i)$	6	10,4	11	15
$c_{RASTI}(a_i)$	6	10,7	11	15
$c_{D_{n,w}(átrio)}(a_i)$	0	2,2	2	10
$c_{D_{n,w}(salascontíguas)}(a_i)$	10	10	10	10
$c_{D_{n,w}(interior)}(a_i)$	2	3,7	3,6	10
$c_{D_{2m,n,w}}(a_i)$	10	10	10	10

Figura 5.1 - Histograma dos valores de $PGAA$

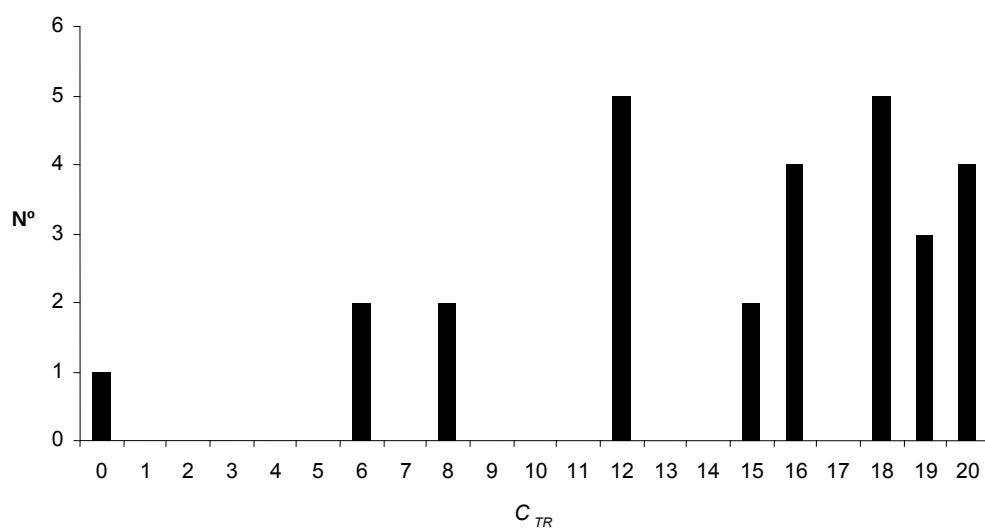


Figura 5.2 - Histograma dos valores de C_{TR} .

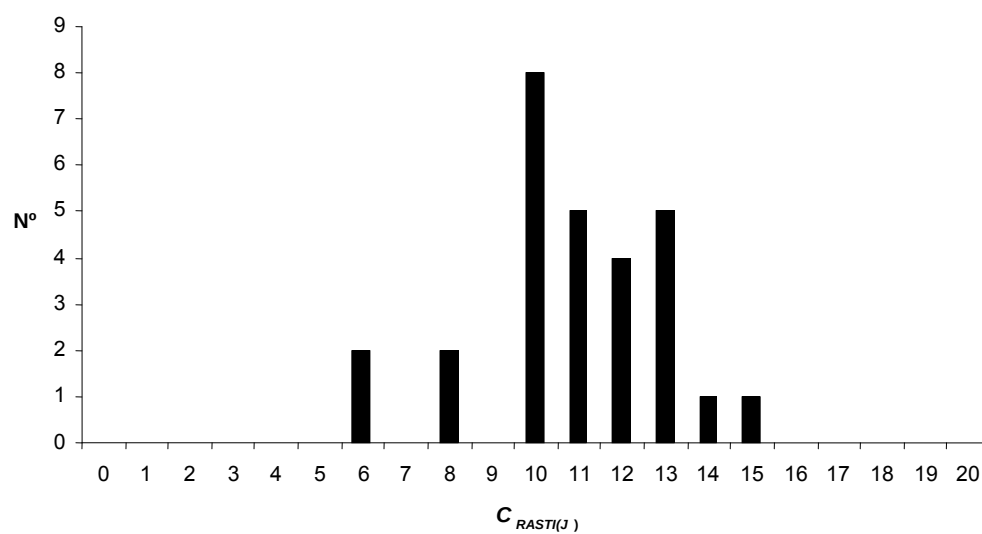


Figura 5.3 - Histograma dos valores de $C_{RASTI(J)}$.

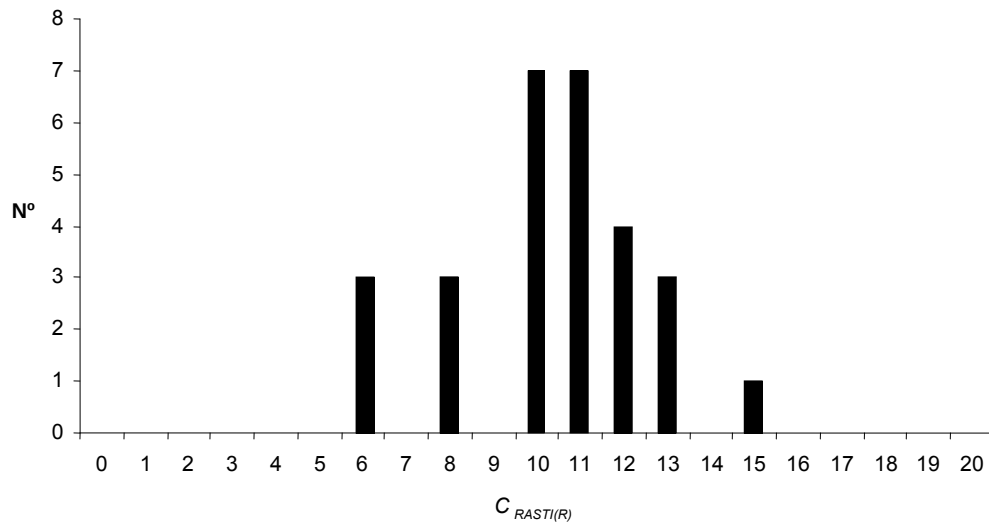


Figura 5.4 - Histograma dos valores de $C_{RASTI(R)}$.

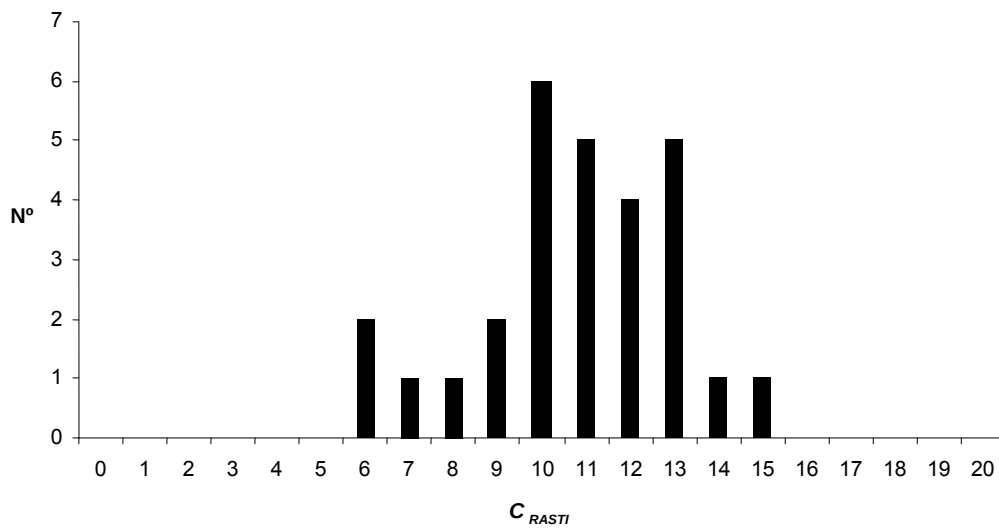


Figura 5.5 - Histograma dos valores de C_{RASTI} .

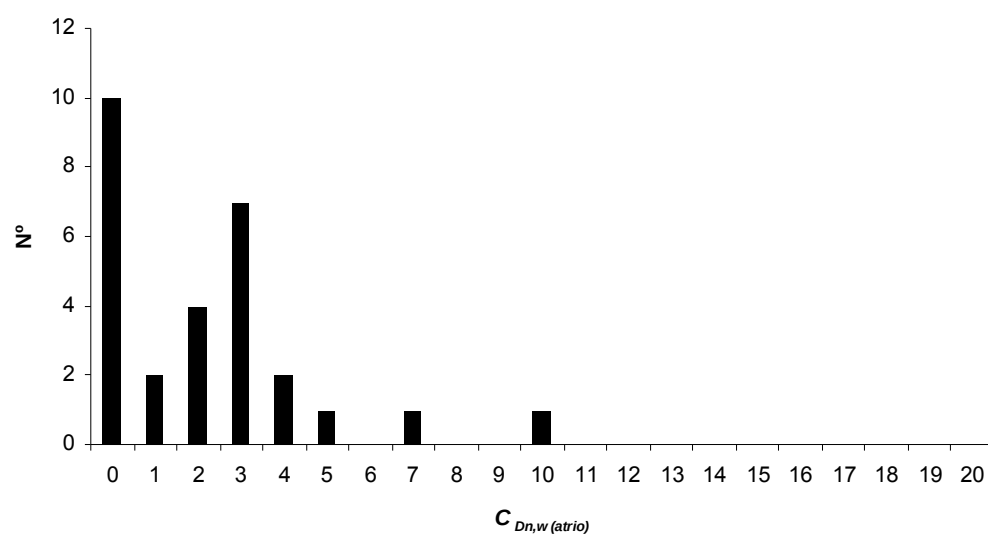


Figura 5.6 - Histograma dos valores de $C_{Dn,w}(\text{átrio})$.

Quadro 5.2 – Resultados da aplicação do método multi-critério à amostra de salas de audiências de tribunais.

Alternativa – Sala	C_{T_R}	C_{RASTI_J}	C_{RASTI_R}	C_{RASTI}	$C_{D_n, w(atrio)}$	$C_{D_n, w(salascontiguas)}$ *
a_1 - Almeida	18	13	12	13	0	10
a_2 - Castelo Branco	12	10	10	10	0	10
a_3 - Celorico da Beira	16	10	10	10	2	10
a_4 - Covilhã (sala 1)	0	6	6	6	3	10
a_5 - Covilhã (sala 2)	18	12	11	12	2	10
a_6 - Figueira de Castelo Rodrigo	18	12	11	12	3	10
a_7 - Fornos de Algodres	8	8	8	8	3	10
a_8 - Fundão (sala 1)	18	11	11	11	3	10
a_9 - Fundão (sala 2)	18	11	11	11	3	10
a_{10} - Gouveia	19	12	11	12	10	10
a_{11} - Idanha-a-Nova	6	6	6	6	0	10
a_{12} - Mangualde	12	10	10	10	3	10
a_{13} - Meda	16	11	10	11	1	10
a_{14} - Oleiros	20	13	13	13	0	10
a_{15} - Oliveira de Frades	20	14	13	14	4	10
a_{16} - Oliveira do Hospital	20	13	13	13	0	10
a_{17} - Pinhel	16	11	11	11	2	10
a_{18} - Sabugal	8	10	8	9	4	10
A_{19} - Sátão	20	13	12	13	0	10
a_{20} - Seia (Sala 1)	12	10	10	10	0	10
a_{21} - Seia (Sala 2)	12	10	10	10	0	10
a_{22} - Sertão	6	8	6	7	2	10
a_{23} - Sever do Vouga	19	13	12	13	0	10
a_{24} - Trancoso	16	11	11	11	1	10
a_{25} - Vila Nova de Foz Côa	15	10	10	10	0	10
a_{26} - Viseu (Sala 1)	12	10	8	9	5	10
a_{27} - Viseu (Sala 2)	19	12	12	12	7	10
a_{28} - Vouzela	15	15	15	15	3	10

Quadro 5.2 – Resultados da aplicação do método multi-critério à amostra de salas de audiências de tribunais (continuação).

Alternativa – Sala	$C_{D_{n,w}(\text{interior})}$	$C_{D_{2m,n,w}}^*$	PGAA
a_1 - Almeida	2	10	13
a_2 - Castelo Branco	2	10	9
a_3 - Celorico da Beira	3,6	10	12
a_4 - Covilhã (sala 1)	4,4	10	3
a_5 - Covilhã (sala 2)	3,6	10	13
a_6 - Figueira de Castelo Rodrigo	4,4	10	13
a_7 - Fornos de Algodres	4,4	10	7
a_8 - Fundão (sala 1)	4,4	10	13
a_9 - Fundão (sala 2)	4,4	10	13
a_{10} - Gouveia	10	10	15
a_{11} - Idanha-a-Nova	2	10	6
a_{12} - Mangualde	4,4	10	10
a_{13} - Meda	2,8	10	12
a_{14} - Oleiros	2	10	14
a_{15} - Oliveira de Frades	5,2	10	15
a_{16} - Oliveira do Hospital	2	10	14
a_{17} - Pinhel	3,6	10	12
a_{18} - Sabugal	5,2	10	8
a_{19} - Sátão	2	10	14
a_{20} - Seia (Sala 1)	2	10	9
a_{21} - Seia (Sala 2)	2	10	9
a_{22} - Sertão	3,6	10	6
a_{23} - Sever do Vouga	2	10	13
a_{24} - Trancoso	2,8	10	12
a_{25} - Vila Nova de Foz Côa	2	10	10
a_{26} - Viseu (Sala 1)	6	10	10
a_{27} - Viseu (Sala 2)	7,6	10	14
a_{28} - Vouzela	4,4	10	12

* relativamente a estes parâmetros $D_{n,w}$ (salas contíguas) e $D_{2m,n,w}$, as pontuações atribuídas são iguais a 10 para todas as salas, devido ao facto de não existirem dados relativamente a estes parâmetros.

6

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Através da análise do quadro 5.2, constata-se que cerca de 29% das salas da amostra apresentam valores de $PGAA$ negativos, sendo elas as salas de Castelo Branco, Covilhã (sala 1), Fornos de Algodres, Idanha-a-Nova, Sabugal, Seia (sala 1), Seia (sala 2) e Sertão contra as restantes 82%.

A sala que obteve o $PGAA$ mais baixo é a da comarca de Covilhã (sala 1), quantificando-se em 3 valores, e as salas que pelo contrário obtiveram os valores mais altos de $PGAA$, sendo este igual a 15 valores, são as das comarcas de Gouveia e Oliveira de Frades.

De facto, a sala 1 da comarca da Covilhã apresenta um valor de T_R muito elevado (3,55 s) e valores de $RASTI$ (J) e (R) fracos (0,37 e 0,35 respectivamente), e também apresenta um valor muito insuficiente relativamente ao isolamento sonoro entre a sala e o átrio de entrada (23 dB). A existência de materiais acusticamente pouco absorventes na sala tais como pavimento em mosaico (parte deste), a parede revestida a madeira (parcialmente) ou parte do tecto ser constituído por vidro, assim como o elevado volume da sala (880 m³) podem explicar o tempo de reverberação alto. As figuras 6.1 e 6.2 são fotografias da sala 1 da comarca da Covilhã, onde se podem observar alguns destes pormenores referidos.



Figura 6.1 – Sala de audiência da comarca da Covilhã (sala 1) [5].



Figura 6.2 - Sala de audiência da comarca da Covilhã (sala 1) [5].

Quanto às salas melhor qualificadas ($PGAA=15$)*:

- a sala da comarca de Gouveia apresenta um tempo de reverberação muito bom (1,1 s), valores de $RASTI$ (J) e (R) médios (0,55 e 0,53 respectivamente), e um valor satisfatório para o isolamento sonoro entre a sala e o átrio de entrada (30 dB). De facto, apresenta o valor mais alto de $D_{n,w}$ (átrio) do total de valores, o que, apesar de ser o valor máximo do conjunto, não deixa de ser um valor mínimo “regulamentarmente”.

É de concluir que, de facto, todas as salas são muito fracas quanto ao isolamento sonoro com o átrio de entrada. O facto de existir alcatifa muito espessa no pavimento, cortinados em tecido grosso, portadas em todas as janelas e volume da sala relativamente baixo (424 m³) explicam o valor deste bom tempo de reverberação. A existência de porta principal com antecâmara em vidro pelo interior explica o valor satisfatório de $D_{n,w}$ (átrio). Todos estes factores contribuem para o bom desempenho acústico desta sala, e justificam o seu valor do $PGAA$.

- a sala da comarca de Oliveira de Frades apresenta um tempo de reverberação excelente (0,9 s), valores de $RASTI$ (J) e (R) bons (0,66 e 0,64 respectivamente), mas um valor para o isolamento sonoro entre a sala e o átrio de entrada pouco satisfatório (24 dB). O facto de o pavimento ser revestido a alcatifa, o tecto falso e o volume da sala ser baixo (374 m³) explicam o valor do tempo de reverberação e consequentemente o alto valor do $PGAA$.

Nos quadros 6.1, 6.2 e 6.3 apresentam-se de uma forma resumida as principais características arquitectónicas, bem como os detalhes ao nível dos materiais existentes na sala, número de portas e janelas (e algumas observações a este nível) das duas salas mais bem classificadas e da sala pior classificada.

*não foi possível apresentar imagens das comarcas melhor qualificadas, devido ao facto de não existirem no estudo exterior [5].

Quadro 6.1 – Principais características arquitectónicas e de materiais da sala pior classificada: a₄
- Covilhã (sala 1).

Sala de audiência: a ₄ - Covilhã (sala 1)		
Características arquitectónicas	Volume total – V (m ³)	880
	Superfície de pavimento – S (m ²)	173
	Altura média – H (m)	5,10
	Comprimento médio – L (m)	15,00
	Largura média – W (m)	11,50
	Área de absorção sonora – A (m ²)	121,4
	Número de lugares sentados – N	120
Tipo de materiais e mobiliário existentes na sala; número de portas e janelas	Tecto	Falso; Gesso; Vidro
	Pavimento	Mosaico; Alcatifa
	Paredes	Madeira; Reboco
	Mobiliário	Madeira; Clássico
	Portas e janelas	6 (portas)
	Observações	-

Quadro 6.2 – Principais características arquitectónicas e de materiais da sala melhor classificada:

a₁₀ – Gouveia.

Sala de audiência: a ₁₀ – Gouveia		
Características arquitectónicas	Volume total – V (m ³)	424
	Superfície de pavimento – S (m ²)	115
	Altura média – H (m)	3,70
	Comprimento médio – L (m)	15,50
	Largura média – W (m)	7,40
	Área de absorção sonora – A (m ²)	67,20
	Número de lugares sentados – N	90
Tipo de materiais e mobiliário existentes na sala; número de portas e janelas	Tecto	Estuque
	Pavimento	Madeira; Alcatifa
	Paredes	Estuque; Madeira; Tela tecido
	Mobiliário	Madeira; Clássico
	Portas e janelas	6 e 4
		Alcatifa muito espessa;
		Cortinados em tecido grosso;
Observações		Porta principal com antecâmara em vidro pelo interior; Janelas com portadas interiores

Quadro 6.3 – Principais características arquitectónicas e de materiais da sala melhor classificada:

a₁₅ – Oliveira de Frades.

Sala de audiência: a ₁₅ – Oliveira de Frades		
Características arquitectónicas	Volume total – V (m ³)	374
	Superfície de pavimento – S (m ²)	98
	Altura média – H (m)	3,80
	Comprimento médio – L (m)	11,30
	Largura média – W (m)	8,70
	Área de absorção sonora – A (m ²)	96,80
	Número de lugares sentados – N	30
Tipo de materiais e mobiliário existentes na sala; número de portas e janelas	Tecto	Falso
	Pavimento	Parquet; Alcatifa
	Paredes	Estuque; Madeira
	Mobiliário	Madeira; Liso; Pele
	Portas e janelas	3 e 4
	Observações	Tecto falso em placas metálicas perfuradas; Alcatifa muito fina

Há que referir um facto interessante: a comarca de Vouzela, indicada como a única da amostra que obteve um “estudo acústico” (pelo menos, de condicionamento acústico interior), não apresenta um *PGAA* excepcional. De facto, apresenta um valor pouco satisfatório, tendo em conta o tipo de sala: 12 valores. Pode-se justificar isto com os seguintes argumentos: o facto de apresentar valores para tempo de reverberação T_R , $RASTI(J)$ e $RASTI(R)$ bons, mas no entanto não excelentes ($T_R=0,5$ s; $RASTI(J)=0,74$ e $RASTI(R)=0,73$); valor muito fraco referente ao isolamento da parece que separa a sala do átrio de entrada ($D_{n,w}(\text{átrio})=23$ dB), quando o mínimo “regulamentar” é de 30 dB.

Os valores dos *PGAA* das restantes salas, que são intermédios dos referidos nos parágrafos anteriores, devem-se à perda ou ganho no tempo de reverberação, ou *RASTI*. Quanto ao parâmetro $D_{n,w}(\text{átrio})$, os valores do desempenho do conjunto das salas relativamente a este critério é generalizadamente muito fraco, existindo apenas um valor positivo (10 valores) de

todo o conjunto, correspondente à sala de Gouveia (uma das melhores classificadas). Este facto provocou uma descida geral das pontuações, sendo mais acentuada numas salas do que noutras, pois as classificações de $C_{D_{n,w}(interior)}$ vão desde 0 a 10 valores. Estas variações dos valores dos vários parâmetros encontram respostas nas características físicas das salas, tais como materiais, volume da sala, etc.

Há que chamar atenção ao facto de que foram considerados valores fictícios constantes (=10) para os índices de isolamento sonoro entre a sala de audiência e as salas contíguas a esta, $D_{n,w}$ (salas contíguas), assim como entre a mesma e o espaço exterior do edifício, $D_{2m,n,w}$, devido ao facto de não existirem dados numéricos relativamente a estes parâmetros. Estes valores são valores neutrais de modo a não induzir erroneamente a avaliação final através do método multi-critério. Considerou-se que a sua omissão no algoritmo matemático comprometia a análise acústica destas salas e levava a uma avaliação muito insuficiente e incompleta da qualidade acústica destas salas. A sua presença é fundamental para a análise completa do comportamento acústico global destas salas.

Além das conclusões atrás obtidas, tentaram-se obter também conclusões acerca da possível relação existente entre a qualidade acústica e os diferentes parâmetros arquitectónicos. Deste modo, foram feitas correlações entre cada par de valores:

- $V (m^3) - PGAA$;
- $S (m^2) - PGAA$;
- $H (m) - PGAA$;
- $L (m) - PGAA$;
- $W (m) - PGAA$;
- $A (m^2) - PGAA$ e
- $N - PGAA$.

Obtiveram-se valores dos coeficientes de correlação (R^2) entre 0,11 (caso de $A - PGAA$) e 0,55 (caso de $V - PGAA$). Não é de grande interesse mostrar os modelos de regressão menos satisfatórios, pois não traduzem fielmente a realidade. Por isso, mostram-se graficamente apenas as duas correlações mais satisfatórias que são entre $PGAA$ e V e H , patentes no quadro 6.4 e nas figuras 6.3 e 6.4. De salientar que apesar de serem os modelos de regressão mais satisfatórios, carecem de alguma validade global pois o $PGAA$ depende das condições acústicas interiores e do isolamento da envolvente, e não somente do volume ou altura da sala (assim como de outras características geométricas).

Foi determinado que 55% da variabilidade global nos valores de $PGAA$ se devem ao Volume. Os restantes 45% dever-se-ão a outros factores, nomeadamente o Isolamento Sonoro.

Quadro 6.4 – Melhores modelos simples de regressão entre pares de parâmetros arquitectónicos e $PGAA$ de cada sala de audiências.

Modelo	R^2
$PGAA = -8,00 \times 10^{-6} \times V^2 - 0,003 \times V + 14,5$	0,55
$PGAA = -0,015 \times H^2 - 1,82 \times H + 19,1$	0,45

V – Volume (m^3) H – Altura (m)

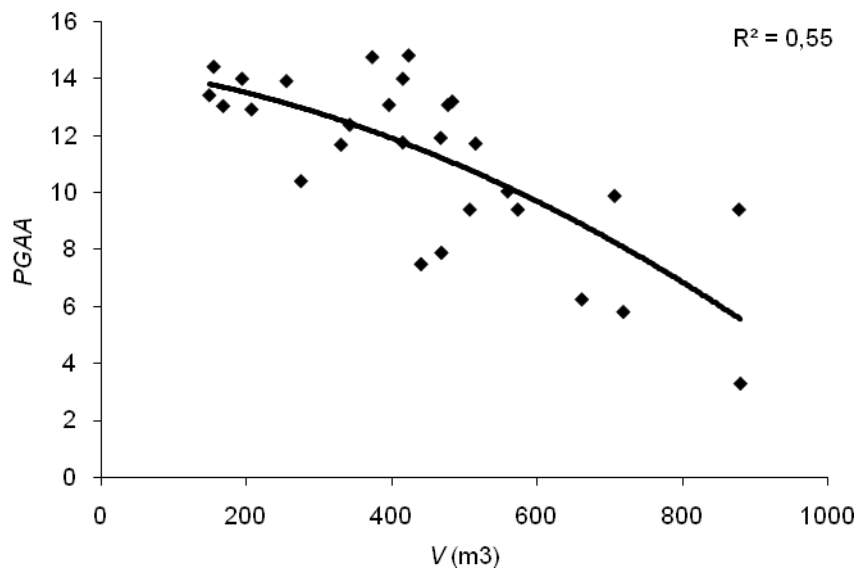


Figura 6.3 – Melhor modelo de regressão entre os valores de $V (m^3)$ e $PGAA$.

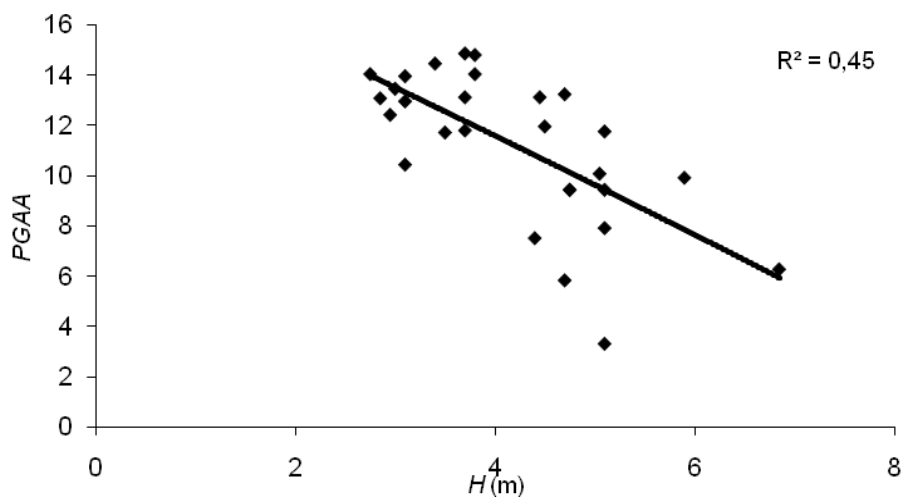


Figura 6.4 – Melhor modelo de regressão entre os valores de $H (m)$ e de $PGAA$.

As mesmas correlações foram feitas depois para os parâmetros C_{RASTI} e C_{TR} na tentativa de se obter também conclusões acerca da possível relação existente entre o $RASTI$ e os parâmetros arquitectónicos, e entre o T_R e os parâmetros arquitectónicos. Deste modo, foram feitas as seguintes correlações:

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| - $V (m^3) - C_{RASTI}$; | - $V (m^3) - C_{TR}$; |
| - $S (m^2) - C_{RASTI}$; | - $S (m^2) - C_{TR}$; |
| - $H (m) - C_{RASTI}$; | - $H (m) - C_{TR}$; |

- L (m) - C_{RASTI} ;
- W (m) - C_{RASTI} ;
- A (m²) - C_{RASTI} e
- N - C_{RASTI} .
- L (m) - C_{TR} ;
- W (m) - C_{TR} ;
- A (m²) - C_{TR} e
- N - C_{TR} .

Assim como se passou na correlação de $PGAA$, houve correlações tanto para os parâmetros C_{RASTI} e C_{TR} que não interessam apresentar, pois não justificam significativamente a realidade. Por isso, mostram-se graficamente apenas as duas correlações mais satisfatórias, patentes nos quadros 6.5 e 6.6, assim como os respectivos gráficos nas figuras 6.5, 6.6, 6.7 e 6.8.

Quadro 6.5 – Melhores modelos simples de regressão entre pares de parâmetros arquitectónicos e C_{RASTI} de cada sala de audiências.

Modelo	R^2
$C_{RASTI} = -4,00 \times 10^{-7} \times V^2 - 0,006 \times V + 13,7$	0,48
$C_{RASTI} = 0,163 \times H^2 - 2,83 \times H + 19,6$	0,52

V – Volume (m³) H – Altura (m)

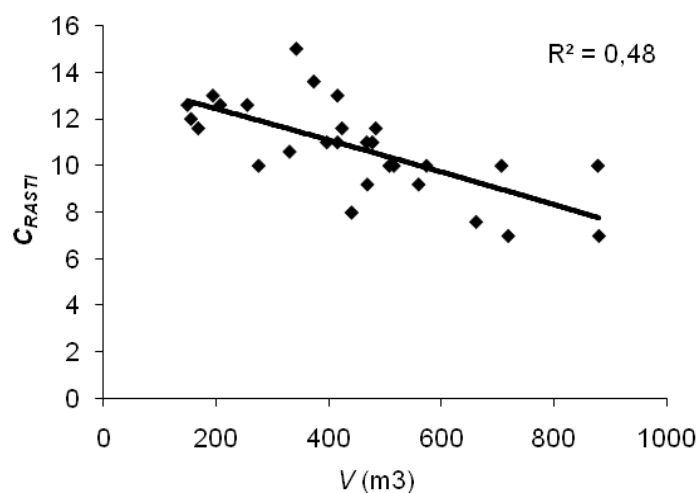


Figura 6.5 – Melhor modelo de regressão entre os valores de V (m³) e de C_{RASTI} .

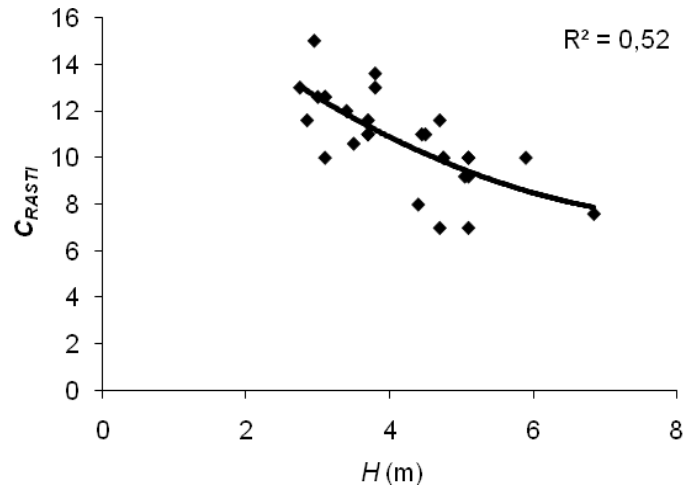


Figura 6.6 – Melhor modelo de regressão entre os valores de H (m) e de C_{RASTI} .

Quadro 6.6 – Melhores modelos simples de regressão entre pares de parâmetros arquitectónicos e C_{TR} de cada sala de audiências.

Modelo	R^2
$C_{TR} = -3,43 \times H + 28,9$	0,45
$C_{TR} = -1,00 \times 10^{-5} \times V^2 - 0,007 \times V + 20,6$	0,56

V – Volume (m^3) H – Altura (m)

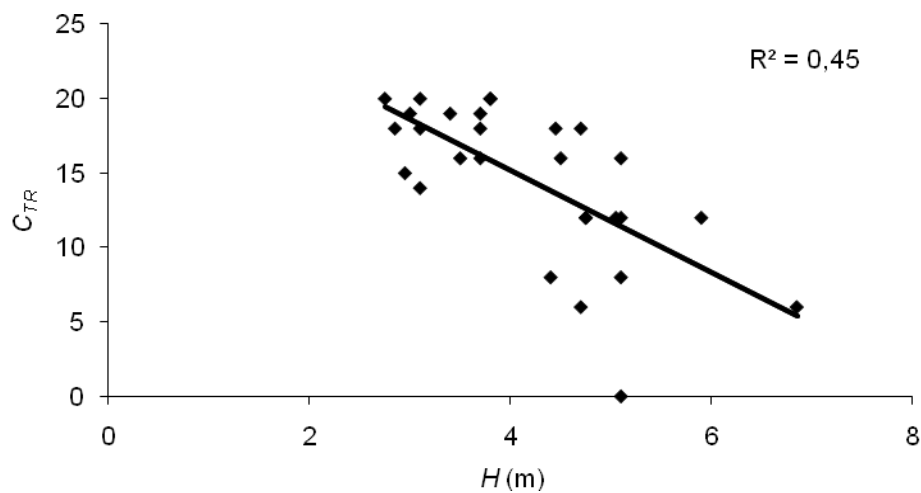


Figura 6.7 – Melhor modelo de regressão entre os valores de H (m) e de C_{TR} .

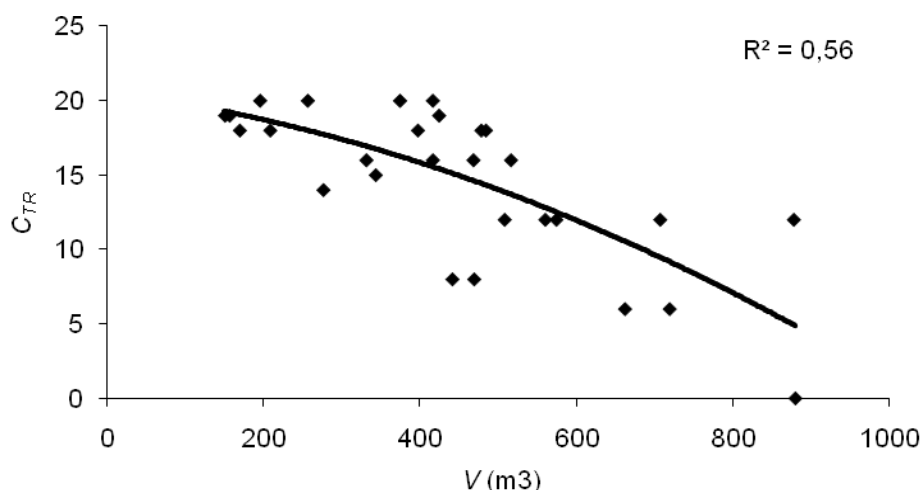


Figura 6.8 – Melhor modelo de regressão entre os valores de $V(m^3)$ e de C_{TR} .

Além das correlações atrás apresentadas, foram estudados três modelos gerais lineares para os três parâmetros: $PGAA$, C_{RASTI} e C_{TR} , tendo-se obtido os patentes no quadro 6.7, apresentando coeficientes de correlação interessantes ($R^2 \geq 0,58$).

Quadro 6.7 – Modelos gerais lineares.

Modelos gerais lineares	R^2
$PGAA = 11,46 - 0,01446 \times V + 0,4934 \times L$	$R=0,58$
$C_{TR} = 16,299 - 0,02432 \times V + 0,7380 \times L$	$R=0,59$
$C_{RASTI} = 16,577 - 1,2723 \times H + 0,01459 \times A - 0,01657 \times N$	$R=0,60$

Pelo quadro 6.7 verifica-se que 58% da variabilidade nos valores de $PGAA$ se justifica pelo Modelo Geral exposto, através dos valores do Volume (m^3) e do comprimento médio L (m). Por isso, 42% ficam para justificar o efeito do isolamento sonoro nos valores de $PGAA$.

De modo a sintetizar os objectivos e critérios base aplicados neste algoritmo, através dos quais foi guiada e baseada a avaliação, indica-se no quadro 6.8 os valores ideais dos parâmetros usados como critérios de avaliação, ou seja, os valores que conduzem a um $PGAA$ de 20 valores para uma sala deste tipo. Indicam-se também os valores que conduzem a um $PGAA$ de 15 valores, caracterizador de uma sala com bom comportamento acústico ($PGAA$ correspondente à sala melhor qualificada da amostra).

Quadro 6.8 – Valores dos parâmetros acústicos que conduzem a valores de *PGAA* ideais (20 valores) e bons (15 valores).

<i>Parâmetro</i>	Sala com comportamento acústico ideal (<i>PGAA</i> = 20 val.)	Sala com bom comportamento acústico (<i>PGAA</i> ≈ 15 val.)
T_R (s)	[0,8; 1,0[	[1,4; 1,8[
<i>RASTI</i>	[0,90; 1,00]	[0,70; 0,80]
$D_{n,w}$ (salas contíguas) (dB)	> 49	[44; 46]
$D_{n,w}$ (átrio) (dB)	> 35	[32; 33]
$D_{2m,n,w}$ (dB)	> 33	[30; 31]

Resta, finalmente, referir que a regulamentação em que se apoiou este estudo foi a regulamentação que se encontrava em vigor durante a efectuação do mesmo. Por isso, a “nova” regulamentação que surgiu posteriormente (a escassos dias do prazo de entrega desta dissertação) não foi tida em conta. Contudo, este MMC em nada se altera se se mudar os seguintes parâmetros:

$$D_{n,w} \rightarrow D_{nT}$$

$$D_{2m,n,w} \rightarrow D_{2m,nT}$$

7

PISTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho desenvolvido anteriormente (Monteiro, 2003) juntamente com o presente trabalho contribuem para a caracterização acústica de um grupo específico de salas (tribunais), assim como a avaliação acústica objectiva de cada uma e a comparação das mesmas. O algoritmo multi-critério formulado permite também que se possa efectuar a mesma avaliação objectiva da acústica de qualquer outra amostra de salas. No entanto, há que reconhecer certas limitações em ambos os trabalhos, que poderão ser diminuídas, com a contribuição de futuros trabalhos.

De seguida passam-se a referir as limitações patentes no presente trabalho assim como sugestões, que poderão ser úteis para completar a utilidade do mesmo:

- Uma das limitações é o facto de os pesos atribuídos a cada parâmetro acústico do algoritmo multi-critério (p_{T_R} , $p_{D_{n,w}(\text{interior})}$, $p_{D_{2m,n,w}}$, p_{RASTI} , $p_{D_{n,w}(\text{salascontíguas})}$, $p_{D_{n,w}(\text{atrio})}$, p_{RASTI_J} , p_{RASTI_R}) serem valores que não têm por base um estudo aprofundado, resultando simplesmente de uma análise acústica subjectiva. Por esta razão, um modo de transformar os valores destes pesos em valores mais credíveis passaria por efectuar um estudo de avaliação subjectiva que se resumiria no seguinte: um grupo de pessoas seleccionado estaria incumbido de avaliar subjectivamente a acústica de todas as salas da amostra, sendo registada a percepção quanto ao ruído de fundo, reverberância, eco, direcionalidade e a impressão geral da acústica de cada sala, por exemplo. Tentar-se-iam encontrar relações entre parâmetros acústicos subjectivos e objectivos e, para aqueles cujas relações fossem mais fidedignas, tornar-se-iam em medidas subjectivas dos parâmetros objectivos (por exemplo, a reverberância poderia ser uma medida do tempo de reverberação). Partindo deste princípio, através da relevância atribuída pelo grupo de pessoas a cada parâmetro subjectivo, poderia determinar-se o peso de cada parâmetro objectivo.

- Outra das limitações evidentes é a inexistência dos valores de $D_{n,w}$ (salas contíguas) e de $D_{2m,n,w}$, o que implica que se deveria efectuar uma medição na mesma amostra de salas destes valores para completar o estudo e aumentar a eficácia do mesmo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Manuel Recuero e Constantino Gil Gonzalez , Acústica Arquitectónica, Benzal, 1993.
- [2] Manuel Recuero López, Acústica Arquitectónica Aplicada, Editorial Paraninfo, 1999.
- [3] <http://www.ime.uerj.br/~alglin/LivroV/3RelBin052.pdf> acedido em 9/04/08
- [4] Luiz Flávio Autran Monteiro Gomes, Marcela Cecília González Araya e Cláudia Carignano, Tomada de decisões em cenários complexos, Thomson, 2004.
- [5] Carlos Aquino Monteiro, Caracterização acústica de salas de audiências de tribunais, 2003.

E ainda:

- A. P. Oliveira de Carvalho, Acústica Ambiental e de Edifícios, FEUP Edições, 2004.
- Tipler Paul A., Física para cientistas e engenheiros, Mc. Graw-Hill, 2004.
- John Wiley & Sons, Fundamentals of acoustics, Kinsler e Lawrence, 1982.
- Zbigniew Engel e Krzysztof Kosala, Acoustic properties of the selected churches in Poland, 2005.
- A. P. Oliveira de Carvalho, Economia das Empresas de Construção.
- Haimes, Yacov Y., Decision making with Multiple Objectives, Springer – Verlag, 1985.