

CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DE GRUTAS TURÍSTICAS – CASOS DE ESTUDO EM PORTUGAL

PACS 43.55.Gx

António P. O. Carvalho; Joana I. V. Sousa
Laboratório de Acústica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal
Telefone: +351 225081931
Fax: +351 225081940
carvalho@fe.up.pt, joanaivsousa@gmail.com

ABSTRACT

Since the Paleolithic, mankind has been taking advantage of the acoustical characteristics of natural caves to perform its rituals. Nowadays many of these spaces are used as touristic attractions or even as stage of musical performances. This study characterizes three touristic caves in Portugal where *in situ* measurements were made of background noise sound pressure level, RASTI and Reverberation Time. The average RT values were 1.3 to 1.7 s and the RASTI average values revealed good intelligibility (from 0.50 to 0.57). The sound absorption coefficient of the stone that surrounds these caves was also measured in a standing wave apparatus.

RESUMO

Desde o Paleolítico o Homem tem recorrido às características acústicas de grutas naturais para realizar alguns rituais e hoje muitas são usadas turisticamente e até para eventos musicais. Este trabalho caracteriza três grutas turísticas das serras de Aire e Candeeiros (Portugal) onde foram feitas medições *in situ* dos níveis de pressão sonora do ruído ambiente, RASTI e Tempo de Reverberação. Foram obtidos valores médios do TR de 1,3 a 1,7 s e de RASTI reveladores de uma elevada inteligibilidade (0,50 a 0,57). Foi também feita a medição do coeficiente de absorção sonora (em tubo de ondas estacionárias) da pedra envolvente dessas grutas.

1 - INTRODUÇÃO

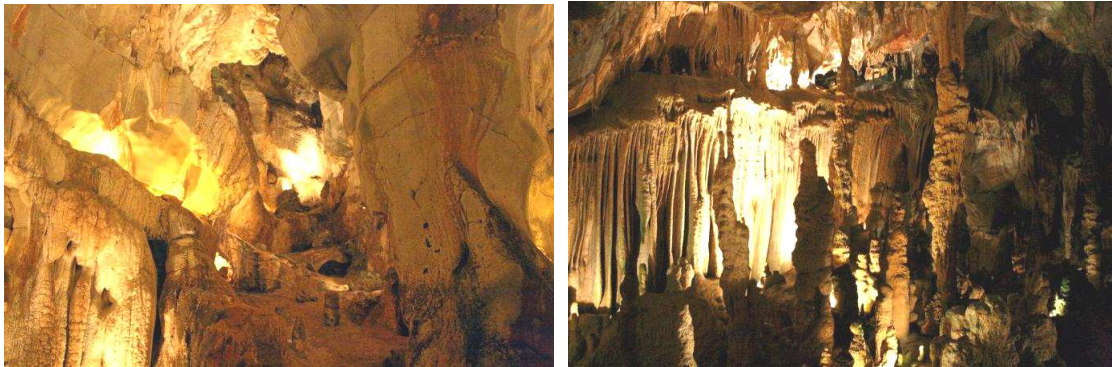
A presença do Homem em grutas remonta a Eras distantes como o Paleolítico. Já então uma das características que levaria a uma maior utilização e fruição de determinadas grutas seria a sua capacidade de potenciar ou modificar o som de acordo com o que seria pretendido. Hoje podem encontrar-se várias grutas que são espaço de visitas turísticas, celebrações ou locais de culto, concertos ou outros espectáculos, pelo que importa saber se estes espaços são de facto adequados às actividades para os quais são utilizados. [1-3]

2 - AS GRUTAS EM ESTUDO

As grutas em estudo (grutas da Moeda, de Santo António e de Alvados) localizam-se nas serras de Aire e Candeeiros na fronteira entre os distritos de Leiria e Santarém (Portugal), no

interior do Maciço Calcário Estremenho (reserva de calcário de grande extensão, com origem no período Jurássico). Todas estas grutas funcionam como grutas turísticas, abertas a visitas de público geral, recebendo também esporadicamente actuações musicais abertas ao público. Têm características semelhantes a nível geológico. A permeabilidade destes maciços calcários deve-se à presença frequente de fendas relacionadas com fracturas e diáclases, que levam à infiltração rápida da água no solo em profundidade, originando fenómenos de erosão cársica, que resulta da dissolução do calcário pela água. A escorrência da água nas superfícies, transportando e depositando partículas de calcite, dá origem a superfícies complexas e compactas, com estalactites, estalagmites e outras formações.

As grutas da Moeda consistem em salas que se ligam entre si como se de um túnel se tratasse, sempre fortemente preenchidas com formações cársicas, existindo uma zona (a *Cascata*) onde há um espaço de maior volume (fig. 1). Este foi o local escolhido para fazer a caracterização acústica, já que é o espaço que é mais utilizado em apresentações e actuações.



Figuras 1 e 2 – *Sala do Pastor* e *Cascata* (Grutas da Moeda) e *Grande Sala* (Grutas de Santo António).

As grutas de Santo António são constituídas por duas salas ligadas por um túnel natural. A sala estudada, a *Grande Sala*, é uma câmara de grandes dimensões com grande densidade de estalactites, estalagmites, colunas e cortinas (fig. 2).

As grutas de Alvados são constituídas por um conjunto de diversas salas interligadas. Aqui as formações naturais estão mais concentradas em certos locais, já que foi uma gruta alterada para que pudesse ser visitável. Nos locais não alterados, verifica-se que as paredes são consideravelmente verticais, pelo que a acumulação de calcite se dá de forma dispersa, originando espaços mais amplos e regulares do que nas outras grutas em estudo.

O comportamento das três grutas, como é comum em grutas com esta génese, sofre alterações sazonais: durante o Inverno e em períodos de chuva frequente e intensa ocorre a infiltração de água a partir da superfície de forma bastante abrangente e em elevada quantidade, sendo por isso uma fonte de ruído. Já durante o estio, estas infiltrações reduzem-se consideravelmente, reduzindo também o nível sonoro do ruído produzido pela água.

Quadro 1 – Valores aproximados da área e volume de cada um dos espaços estudados [4].

Sala estudada (Gruta)	Moeda	Sto. António	Alvados
Área (m ²)	476	1382	198
Volume (m ³)	2930	8640	1350

Os três espaços estudados apresentam grandes diferenças a nível morfológico, tanto a nível da volumetria (quadro 1) como da forma e ocupação dos espaços. Esta última é muito distinta de gruta para gruta, já que nas grutas da Moeda existe uma formação clara em túnel, enquanto que nas grutas de Santo António a *Grande Sala* consiste numa sala ampla e de grandes dimensões mas fortemente ocupada por formações cársicas, e nas grutas de Alvados o espaço estudado é também amplo mas muito mais pequeno e livre de formações cársicas.

3 - TEMPO DE REVERBERAÇÃO

A medição do tempo de reverberação (TR) foi feita com recurso a uma fonte sonora B&K 4224 e sonómetro B&K 2260, com a utilização de 5 ou 6 pontos de medição em cada gruta (duas medições para cada ponto). Os valores médios obtidos para o TR por banda de frequência são representados na figura 3 [4].

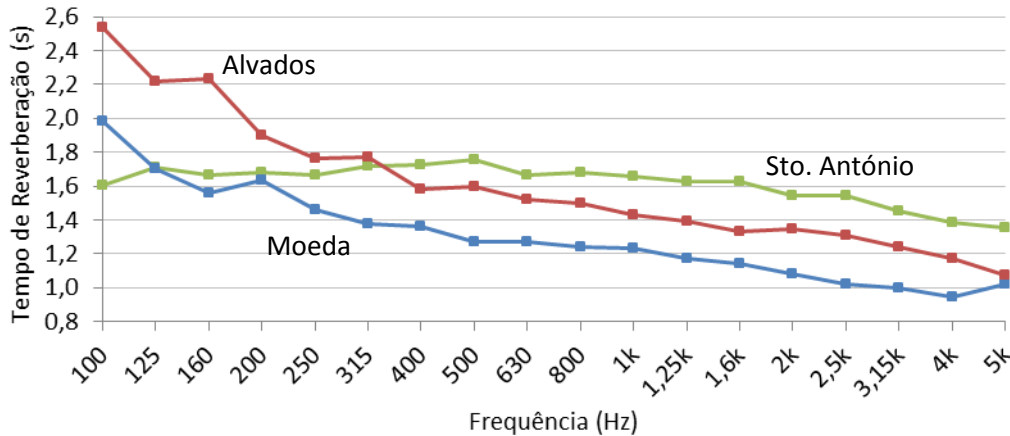


Figura 3 – Valores médios do TR por banda de 1/3 de oitava nas três grutas.

Nas grutas da Moeda obtém-se um *TR médio* [500,1k] de 1,3 s analisando os valores médios em bandas de oitava. Tendo em conta a rigidez e compacidade do material da envolvente e o volume da sala em estudo, os valores obtidos para o TR aparentam ser bastante baixos em relação ao espectável. Uma análise mais detalhada do espaço permite justificar estes valores: todas as superfícies são altamente rugosas, irregulares e com relevos complexos, ao mesmo tempo que se encontram por todo o espaço diversas concavidades, protuberâncias, espaços em túnel, entre outras formas, que difundem ou confinam as ondas sonoras até que estas percam energia suficiente para serem inaudíveis sem que tenham sido antes reflectidas de novo para o espaço ocupado pelos visitantes. Estas irregularidades são ainda responsáveis pela existência de uma grande área de superfície envolvente, fazendo com que, apesar da baixa capacidade de absorção sonora do material, esta ocorra com algum significado, conduzindo a um baixo TR. A figura 3 permite ainda verificar que os valores médios do TR nas grutas da Moeda são mais elevados nas baixas frequências do que nas altas. Este facto deve-se à morfologia e ao volume do espaço, já que existem desníveis e espaços de pequena dimensão que absorvem a energia de ondas de médias e altas frequências mas que não o fazem tão eficazmente para ondas de baixas frequências, que conseguem ser reflectidas para o espaço de medição. O volume de ar influencia também a redução do TR acima dos 1 kHz.

Nas grutas de Santo António obtém-se *TR médio* [500,1k] de 1,7 s e o TR na *Grande Sala* para cada banda de frequências é relativamente constante (figura 3). O seu valor médio é bastante baixo tendo em conta o valor do volume deste espaço. Nesta sala, com espaços bastantes amplos mas com numerosas protuberâncias e concavidades de dimensão variada e superfícies muito irregulares, o som sofre muita difusão e é dispersada muita energia nessas mesmas formações, fazendo com que as reflexões tenham pouca energia e, consequentemente, baixando o TR. O efeito da grande área das superfícies que constituem a envolvente faz-se sentir, já que dá origem a uma absorção considerável que diminui o TR. Há no entanto que ter em conta que as altas frequências sofrem sempre mais alguma absorção do que as baixas, já que o ar absorve mais energia nas médias e altas.

Os TR medidos nas grutas de Alvados conduzem a *TR médio* [500,1k] de 1,5 s. As causas dos baixos valores do TR podem ser de novo atribuídas à grande dissipação de energia sonora nas superfícies irregulares e de grande área que constituem a envolvente do espaço, havendo neste caso também alguma influência das quatro passagens de acesso ao espaço que têm uma dimensão relevante, por onde tanto baixas como altas frequências penetram e acabam por perder energia sem que voltem ao espaço de análise. Analisando a figura 3 verifica-se que

os valores do TR descem quase continuamente dos 100 aos 5k Hz, com uma diferença de cerca de 1,4 s entre o TR entre estas bandas de frequências. A sala analisada trata-se de um espaço amplo, com uma forma aproximadamente regular, em que o piso e o tecto são aproximadamente paralelos, bem como duas das suas paredes. As suas superfícies são rugosas, mas com poucas deformações, protuberâncias ou concavidades de grande dimensão. Assim, não existe muita dissipação da energia das ondas sonoras de baixas frequências, enquanto que as pequenas formações cársicas, juntamente com o ar, fazem com que haja uma forte dissipação da energia das ondas sonoras de baixas frequências.

Comparação de Resultados

O maior TR é registado nas grutas de Santo António, sendo estas as grutas em que o espaço estudado tinha o maior volume livre. Como neste caso o volume era quase o triplo do volume do espaço estudado nas grutas da Moeda, e mais do sêxtuplo do volume do espaço estudado nas grutas de Alvados, este efeito sobrepõe-se à complexidade do relevo das suas superfícies que, embora seja mais evidente neste espaço do que nos restantes, não é suficiente para anular o efeito do volume acrescido.

A curva de ajuste aos valores médios do TR em função do Volume dos espaços é dada pela equação $T = 3,83^{\sqrt[5]{V}} + 1,32$ com um R^2 de 0,47, logo, 47% da variação dos valores do TR pode ser explicada pela variação do volume. A comparação das grutas da Moeda com as de Alvados indica que o aumento de volume não implica necessariamente o aumento do TR, provavelmente devido às suas configurações com características antagónicas: o espaço estudado nas grutas da Moeda trata-se de um espaço intrincado, com zonas volumosas com superfícies envolventes muito irregulares; já o local estudado nas grutas de Alvados é um espaço amplo, sem grandes deformações das suas superfícies e relativamente regular. Assim sendo, as ondas sonoras têm muito mais facilidade em perder energia no espaço nas grutas da Moeda do que no espaço das grutas de Alvados. Também a relação entre área superficial da envolvente e volume é maior nas grutas da Moeda do que nas grutas de Alvados, pelo que a absorção sonora terá mais relevância nas primeiras do que nas segundas. Conclui-se então que o tipo de relevo das superfícies das grutas e a sua morfologia tem uma importância crucial no seu comportamento acústico. Verifica-se que quanto mais intrincada for a morfologia do espaço e quanto mais complexos forem os relevos na sua superfície, menor será o TR, devido ao aumento da absorção sonora equivalente.

4 - RUÍDO DE FUNDO

A medição do nível de pressão sonora contínua equivalente (L_{eq}) do ruído de fundo em período chuvoso foi feita com um sonómetro B&K 2260 (B&K 2236 em tempo seco) em períodos de 10 minutos [4].

Grutas da Moeda

As medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo em período chuvoso foram feitas na *Sala do Pastor*, num ponto central onde a influência do som da água da cascata artificial a cair não se sobrepõe tanto ao restante ruído de fundo. Estas foram feitas em três momentos distintos: com a cascata artificial ligada e a música de fundo em simultâneo (CM), depois apenas com a música de fundo ligada (M) e por último sem nenhuma das fontes de ruído activada (SA), sempre sem visitantes. Importa referir que o facto de a cascata ter sido ligada para a primeira medição teve influência nas medições seguintes por aumentar quantidade de água percorrendo a gruta e conseqüentemente o ruído, mesmo depois de ter sido desligada. Aplicando o filtro A aos valores medidos obtém-se um LA_{eq} de 63 dB para a situação CM (fig. 4), 52 dB para a situação M e 40 dB para a situação SA (fig. 5).

As medições em período seco foram realizadas na sala *Marítima* (sala onde já foram realizadas outras actividades que não as visitas guiadas) devido à constante presença indesejada nas medições do ruído de água na zona que compreendia a *Sala do Pastor* e a *Cascata*. Esta medição, sem qualquer equipamento ligado no interior do espaço, conduziu aos valores

indicados no quadro 2. Importa referir que mesmo estes valores foram influenciados pela queda de água de cursos artificiais, já que estes foram desligados poucos minutos antes da realização da medição. Ainda assim, verifica-se que o L_{eq} é notoriamente baixo (< 25 dB) e sendo por isso possível considerar este espaço como muito silencioso. Durante 10% do tempo de medição o nível sonoro encontrou-se abaixo dos 20 dB(A) e durante 50% do tempo esteve abaixo dos 21 dB(A). Com um LA_{eq} em período chuvoso, sem equipamentos ligados, de 40 dB, e em período seco, na mesma situação, de 23 dB pode-se concluir que a circulação de água tem uma grande influência na acústica deste espaço, provocando uma variação de mais de 17 dB no LA_{eq} detectado.

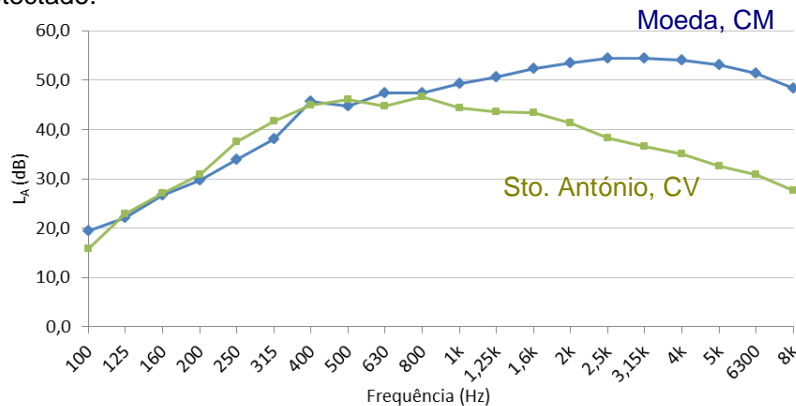


Figura 4 – Níveis sonoros, LA (dB), do ruído de fundo nas grutas da Moeda na situação de ruído da Cascata e Música de fundo (CM), e nas grutas de Santo António na situação Com Visitas (CV).

Grutas de Santo António

O ponto de medição do ruído de fundo na Gruta de Santo António foi escolhido tentando minimizar a influência do ruído da queda das gotas de água resultantes das infiltrações. Para ambas medições optou-se pelo espaço mais amplo e com uma altura até ao tecto da gruta considerável.

Nas grutas de Santo António o nível de pressão sonora do ruído de fundo em período chuvoso foi medido quer durante um período de visitas à gruta, com um grupo de cerca de dez pessoas percorrendo a *Grande Sala* (CV), quer durante um período sem visitas (SV). Os valores registados e corrigidos com o filtro A conduziram a um LA_{eq} de 54 dB para a situação CV (fig. 4) e de 33 dB para a situação SV (fig. 5). A perturbação induzida pelas visitas é notória, com um acréscimo de cerca de 21 dB(A) no nível sonoro contínuo equivalente. Quando sem visitas, o valor bastante mais elevado do nível sonoro nas altas frequências deve-se principalmente ao efeito da queda das gotas de água sobre o solo e o material disposto na gruta.

Nas medições do nível sonoro do ruído de fundo em período seco nas grutas de Santo António obtiveram-se resultados que demonstram o quão silenciosos são estes espaços (quadro 2), com um LA_{eq} de 21,6 dB, um LA_{10} de 24 dB e um LA_{90} abaixo dos 20 dB, valores dificilmente atingidos fora de câmaras reverberantes ou anecóicas, pode-se afirmar que este será dos espaços naturais mais silenciosos em Portugal, mesmo com a interferência de gotas de água resultantes de infiltrações permanentes, das correntes de ar e da possível presença de fauna.

Grutas de Alvalados

Nas grutas de Alvalados foi escolhido um ponto central ao espaço para a medição do ruído de fundo em período chuvoso, para reduzir a influência de possíveis gotejamentos que ocorressem próximos às paredes. Estas apenas se encontram abertas ao público durante a semana na época alta e não têm qualquer equipamento que possa ser fonte de ruído, pelo que apenas se analisaram os ruídos naturais do espaço em estudo em período chuvoso. Nesta gruta não foi possível fazer a medição do nível sonoro contínuo equivalente para o período seco devido à maior afluência de visitantes e consequente necessidade de não perturbar o normal funcionamento das visitas. A semelhança do que acontece nas duas outras grutas

estudadas, também aqui a fonte principal de ruído está na queda das gotas de água, já que não há qualquer outra interferência sonora vinda do interior ou exterior do espaço. Obtém-se então um LA_{eq} de 32 dB (fig. 5), que, embora denote algum ruído, é um valor baixo.

Comparação de Resultados

A comparação entre as três grutas no que toca ao ruído de fundo apenas incide sobre a situação de não estarem equipamentos ruidosos ligados e de não estarem a ocorrer visitas, em período chuvoso, já que foi a única situação que foi possível determinar em comum entre as três. Foram também comparados os valores obtidos em período seco, sem equipamentos ligados. Os resultados obtidos estão na figura 5, para período chuvoso, e os níveis sonoros contínuos equivalentes nos dois períodos de medição são apresentados no quadro 2 [4].

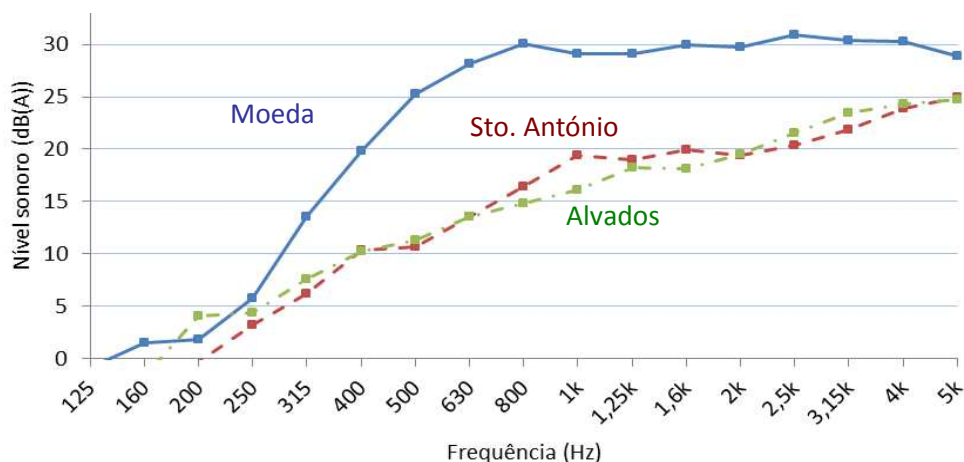


Figura 5 – Níveis de pressão sonora filtrados com o filtro A por banda de frequência de terço de oitava em cada gruta para a situação de ruído apenas da infiltração de água, sem visitas ou equipamentos ligados.

Quadro 2 – Valores do nível sonoro do ruído de fundo medidos em período seco (sem actividade ou equipamentos ligados) e em período chuvoso (ruído apenas resultante da infiltração de água, sem visitas ou equipamentos ligados), nas grutas da Moeda, de Santo António e Alvados.

Gruta	LA_{eq} (dB)		LA_{10} (dB)	LA_{50} (dB)	LA_{90} (dB)
	Seco	Chuvoso	Seco	Seco	Seco
Moeda	23,1	40,3	25,0	21,0	20,0
Santo António	21,6	32,7	24,0	20,5	<20,0
Alvados	-	32,4	-	-	-

A figura 5 permite afirmar que as grutas da Moeda serão as mais ruidosas no período chuvoso, com a sua principal fonte de ruído sendo a constante queda e circulação de água. As infiltrações em período chuvoso são significativas nas três grutas, levando à frequente queda de gotas de água que causaram o aumento do nível sonoro nas altas frequências. Este facto pode ser prejudicial para algumas utilizações que requeiram ruídos de fundo reduzidos. Ainda assim, mesmo durante o período chuvoso, pode-se considerar que o ruído de fundo nestes espaços tem um valor bastante baixo, com um valor médio de LA_{eq} de 34 dB.

Comparando a situação de período chuvoso e de período seco pode-se concluir que a infiltração de água é a grande responsável pelo ruído no interior destes espaços, já que provoca um acréscimo de 12 dB(A) no nível sonoro detectado.

5 - RASTI

O RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*) foi medido com um emissor B&K 4225, receptor B&K 4419 e analisador 3361. Os pontos de medição foram coincidentes com os pontos para o TR [4].

A comparação dos valores do RASTI medidos em cada espaço conduz à percepção de qual das grutas proporcionará uma melhor percepção da palavra, um factor de extrema importância na realização de visitas guiadas, espectáculos de teatro ou conferências. Os valores médios para cada uma das grutas são apresentados no quadro 3. Verifica-se que a inteligibilidade da palavra é, em média, de *aceitável a boa*, o que significa que há uma boa percepção em todo o espaço.

Quadro 3 - Valores do RASTI médio para cada uma das grutas estudadas.

Gruta	Moeda	Sto. António	Alvados
RASTI médio	0,54	0,50	0,57

Com um valor médio (nas três grutas) de 0,54 e valores mínimos próximos dos 0,40 pode-se afirmar que a percepção da palavra em todos os espaços estudados é boa, tendo em conta que as medições foram feitas até distâncias consideráveis. Verifica-se que a maior variação ocorre nas grutas da Moeda, já que a sua complexa morfologia causa grandes perdas de inteligibilidade à medida que o receptor se afasta da fonte sonora. Justifica-se ainda que a menor variação tenha sido registada nas grutas de Alvados, já que este é o espaço onde existiam menos obstáculos entre o ponto de emissão do sinal RASTI e os diferentes pontos de recepção. O baixo TR nas três grutas contribui para um aumento da perceptibilidade da palavra, já que não ocorre o empastelamento dos sons emitidos.

6 - COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA E FACTOR DE FORMA

A determinação experimental do coeficiente de absorção sonora das amostras de rochas recolhidas das paredes das grutas em estudo foi feita através do tubo de ondas estacionárias (B&K 4002, analisador B&K 1024 e sonómetro B&K 2231 com filtro 1625) [4].

Os valores obtidos por este método para o coeficiente de absorção sonora correspondem à situação de incidência normal à amostra. Neste caso, a face exposta não é paralela à base de suporte (é arredondada). Assumiu-se então que a área das amostras é superior em 10% à área da secção transversal do tubo e afectaram-se os resultados dum factor multiplicativo de 0,9 [4].

O valor do coeficiente de absorção sonora real dum material engloba a sua capacidade de absorção das ondas incidentes em todas as direcções e não só na direcção normal. No entanto e apesar de todas as aproximações existentes, não existe um método preciso que permita converter os valores obtidos no tubo de ondas estacionárias (para incidência normal) em valores para incidência difusa e que também diferencie por bandas de frequência. Assim, não foi feita nenhuma conversão neste trabalho com esse objectivo.

As amostras (I e II) foram recolhidas das grutas da Moeda. A I é constituída por calcário Jurássico, com algumas fendas, pouco poroso e a II é constituída por calcário biogénico, com origem na deposição de calcite e estrutura cristalina. Foram obtidos os resultados do quadro 4.

Quadro 4 – Coeficientes de absorção sonora obtidos pelo método do tubo de ondas estacionárias para as amostras I e II (valores corrigidos (x0,9) devido ao excesso de área face à secção transversal do tubo).

Banda de frequência (Hz)	500	1k	2k	4k
α I corrigido	0,09	0,08	0,08	0,09
α II corrigido	0,07	0,08	0,08	0,09

Os valores obtidos experimentalmente para o coeficiente de absorção sonora dos materiais que constituem as paredes das grutas permitem fazer uma estimativa da área real da envolvente, que pode ser extrapolada para outras grutas com a mesma génese. Assim, definindo um factor de forma F_f que traduz a razão entre o valor estimado da área da superfície envolvente S_{env} e a área da envolvente caso as superfícies fossem regulares (S_{reg}) e aplicando a fórmula de Sabine, tem-se:

$$F_f = \frac{S_{env}}{S_{reg}} \Leftrightarrow F_f = \frac{0,45V - mV - 3 \times A_p}{\alpha_{TOE} \times S_{reg}} \quad (1)$$

Após calcular de modo aproximado a área da envolvente da sala da gruta caso as superfícies fossem regulares (S_{reg}) e tendo os restantes valores necessários, obtém-se os valores médios do factor de forma (F_f) cf. quadro 5 (de 1). Assim, a área real da envolvente é cerca de 2,2 a 2,8 vezes superior (a uma situação de paredes lisas) pela presença de formações geológicas.

Quadro 5 – Valores da área estimada do espaço caso as superfícies fossem regulares (S_{reg}), da área superficial real da envolvente com as form. geológicas (S_{env}) e do Factor de forma (F_f) para cada gruta.

Gruta	S_{reg} (m ²)	S_{env} (m ²)	F_f (= S_{env} / S_{reg})
Moeda	1650	4620	2,8
Santo António	3700	10360	2,8
Alvados	850	1870	2,2

7 - CONCLUSÕES

As grutas da Moeda, de Santo António e de Alvados são representativas de muitas outras a nível mundial, de formação cársica, pelo que os resultados aqui obtidos podem ser tidos como referência para espaços de características semelhantes.

Os resultados obtidos nas medições *in situ*, com valores médios de TR (500/1k) de 1,3 a 1,7 s e 0,50 a 0,57 para o RASTI, indicam características acústicas surpreendentemente pouco reverberantes tendo em conta a dimensão e o material que constitui a envolvente destes espaços. Estas grutas são espaços com baixo TR e uma boa inteligibilidade da palavra devido à complexa estrutura e morfologia das suas superfícies que, para além de provocar a difusão e rápida dissipação da energia sonora, representa uma grande área de absorção sonora. Os valores do LA_{eq} do ruído de fundo obtidos para o período chuvoso (32 a 40 dB) indicam um ruído ambiente pouco incomodativo mas audível. Os resultados obtidos para o período seco, de 22 a 23 dB(A) (com $LA_{90} < 20$ dB) confirmam a hipótese de estes se tratarem de espaços silenciosos. Estes são espaços que podem facilmente ser adaptados e utilizados para outros fins para além das já realizadas visitas guiadas.

A comparação dos valores obtidos para o TR e RASTI com valores considerados ideais para determinadas utilizações permite estabelecer quais os usos adequados a cada espaço. No quadro 6 apresenta-se a adequabilidade de cada espaço para cada possível utilização.

Quadro 6 – Adequabilidade dos espaços de acordo com a sua utilização.

Tipo de utilização	Grutas da Moeda	Grutas de Sto. António	Grutas de Alvados
Auditório (palavra) ou teatro	Adequado	Não Recomendado	Adequado
Música de câmara ou ópera	Adequado	Excelente	Excelente
Canto gregoriano, coro ou órgão	Não Recomendado	Não Recomendado	Não Recomendado
Música sinfónica	Barroca	Adequado	Excelente
	Clássica	Adequado	Adequado
	Romântica	Não Recomendado	Adequado

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Reznikoff, I., *Prehistoric paintings, sounds and rocks*, in *Studien zur Musikarchäologie III: 2nd Symposium of the International Study Group on Music Archaeology*, Monastery Michaelstein (Germany), 2000.
2. González, N.J., *et al.*, *The Parpalló Cave: A singular archaeological acoustic site*. The Journal of the Acoustical Society of America, 123(5): p. 3608-3613, 2008.
3. Iannace, G. e A. Trematerra, *The acoustics of the caves*. Applied Acoustics, 86 p 42-46, 2014.
4. Sousa, J., *Caracterização Acústica de Grutas Turísticas - Estudo de Casos (As Grutas das serras de Aire e Candeeiros)*, Dissertação de Mestrado Int. Engenharia Civil, FEUP, 2014.