

Avaliação do grau de incomodidade provocado por uma fonte sonora. Ensaio de comparação interlaboratorial.

Antunes, Sónia ^{a)}; Cortês, Leopoldo ^{b)}; Falcão, Ana ^{c)}; Fradique, Jorge ^{d)}; Inglês, Fátima ^{e)} Leal, Isabel ^{f)}

^{a)} Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, santunes@lnec.pt

^{b)} Instituto Português da Qualidade, Rua António Gião 2, 2829-513 Caparica, Portugal, lcortez@mail.ipq.pt

^{c)} Direcção Regional do Norte do Ministério da Economia, Rua Direita do Viso 120,4269-002 Porto, ana.falcao@drn.min-economia.pt

^{d) f)} Direcção Regional do Ministério da Economia de Lisboa e Vale do Tejo, Estrada da Portela – Zambujal Apartado 7546 – Alfragide, 2721-858 Amadora, jorge.fradique@dre-lvt.min-economia.pt, isabel.leal@dre-lvt.min-economia.pt

^{e)} Arsenal do Alfeite, Alfeite, 2810-001 Almada, Portugal, fatima.ingles@arsenal-alfeite.pt

RESUMO: Durante os meses de Setembro e Outubro de 2003 a Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal (RELACRE) promoveu a realização de um ensaio de comparação interlaboratorial no domínio da Acústica intitulado: “Avaliação do grau de incomodidade provocada por uma fonte sonora”. Neste ensaio foi solicitado que cada laboratório participante caracterizasse o ruído produzido por uma fonte sonora de modo a determinar o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, do ruído ambiente e nível de avaliação correspondente, como também o ruído residual. Para o efeito, cada participante deveria efectuar a avaliação da incomodidade sonora na perspectiva do cumprimento do regime legal sobre a poluição sonora, tendo em conta as metodologias de medição descritas nos “procedimentos específicos de medição de ruído ambiente”. O presente artigo apresenta a metodologia utilizada na determinação dos valores de referência, os resultados obtidos e principais conclusões.

ABSTRACT: Between September and October of 2003 the Portuguese Association of Accredited Laboratories (RELACRE) promoted the realization of an intercomparison in the field of acoustics named: “Assessment of the degree of annoyance emitted by a sound source”. Each participant laboratory should measure the equivalent continuous A weighted sound pressure level of the ambient and residual noises and the rating level. In order to access the sound source annoyance the laboratories should use the methodologies published in the Portuguese Legislation (Regime Legal sobre a Poluição Sonora) and the specific measuring procedures outlined in “Procedimentos Especificos de Mediçao de Ruído Ambiente”. This article presents the methodologies used for the determination of the reference value, the results and the main conclusions of this intercomparison

1. INTRODUÇÃO

O critério para a avaliação de incomodidade de uma fonte sonora está expresso no número 3 do artigo 8º do Regime Legal sobre a Poluição Sonora (RLSP), aprovado pelo Decreto-Lei nº 292/2000 de 14 de Novembro. O referido artigo estabelece que a diferença entre o nível sonoro contínuo, ponderado A do ruído ambiente (referenciado neste artigo pela sigla $L_{Aeq,T}$

R.A) durante a ocorrência do ruído particular e o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, do ruído residual (referenciado neste artigo pela sigla $L_{Aeq,T}$ R.R), não poderá exceder 5 dB(A) no período diurno e 3 dB (A) no período nocturno, consideradas as correcções relativas às características tonais ou impulsivas do ruído particular (passando-se a designar por nível de avaliação $L_{AR,T}$), como se indica nas expressões seguintes:

$$L_{AR,T} - L_{Aeq,T} R.R \leq 5 \text{ dB (A) no período diurno (das 7 às 22 horas)} \quad (1)$$

$$L_{AR,T} - L_{Aeq,T} R.R \leq 3 \text{ dB (A) no período nocturno (das 22 às 7 horas)} \quad (2)$$

em que:

$$L_{AR,T} = L_{Aeq,T} R.A + K1 + K2 \quad (K1 \text{ correcção tonal e } K2 \text{ correcção impulsiva)} \quad (3)$$

A legislação portuguesa (Anexo 1 do RLPS) considera que um ruído apresenta características tonais se, no espectro de um terço de oitava, o nível de uma banda excede o das adjacentes em 5 dB ou mais, para o intervalo de tempo em avaliação (verificando-se nesta situação $K1 = 3$ dB(A)). A medição deve ser efectuada na gama de frequências entre os 50 Hz e 8 kHz, utilizando a ponderação em frequência A (como descrito nos procedimentos específicos de medição de ruído ambiente). O método para detectar as características impulsivas do ruído consiste em determinar a diferença entre o nível sonoro contínuo equivalente, $L_{Aeq,T}$, medido em simultâneo com característica impulsiva (*impulse*) e rápida (*fast*). Se esta diferença for superior a 6 dB, o ruído deve ser considerado impulsivo (verificando-se $K2 = 3$ dB(A)). Caso se verifique a coexistência de características tonais e impulsivas a correcção a adicionar é de 6 dB(A).

Aos valores limite da diferença das expressões (1) e (2) deverá ser adicionado um valor D em função da ocorrência do ruído particular, como se apresenta na tabela 1.

Tabela 1- *Correcção a introduzir em função da duração do ruído particular*

Duração acumulada de ocorrência do ruído particular, T	Correcção dB(A)
T < 1 h	4
1 h < T < 2 h	3
2 h < T < 4 h	2
4 h < T ≤ 8 h	1
T > 8h	0

Este ensaio de comparação interlaboratorial foi realizado nas instalações da Direcção Regional do Norte do Ministério da Economia. Para o efeito foram utilizadas 2 salas adjacentes, onde na primeira (designada por sala emissora) foi colocada a fonte sonora, enquanto que na segunda (sala receptora) foram realizadas as medições. A fonte sonora produzia um ruído estacionário com uma componente tonal na banda de terço de oitava centrada na frequência de 2000 Hz, durante 30 minutos. Pretendendo-se simular um ruído particular produzido por uma fonte com um período de funcionamento compreendido entre as 7 e 22 horas (período diurno), pelo que, à luz do RGPS, se deve verificar o cumprimento da expressão (1), com $K2 = 3$ dB(A) e $D = 0$.

Para o estabelecimento da metodologia de trabalho, determinação dos valores de referência e erros máximos face ao valor de referência foi constituída uma comissão técnica que integrou elementos das seguintes instituições: LNEC; Direcção Regional do Norte do Ministério da Economia; Arsenal do Alfeite e Direcção Regional de Lisboa e Vale do Tejo do Ministério da Economia. A Comissão realizou medições no início, a meio e no final do ensaio tendo sido os pontos de medição distribuídos por uma grelha de 19 pontos na sala receptora (que tinha uma área aproximadamente de 23 m²), respeitando-se as distâncias mínimas entre os pontos de medição e superfícies reflectoras (1 metro das paredes e 1,5 metro das portas) e altura do ponto de medição (entre 1,2 a 1,5 metro acima do solo). Na tabela 2 apresentam-se os equipamentos utilizados pela comissão técnica, pretendendo-se abranger um leque representativo dos equipamentos que têm actualmente aprovação de modelo em Portugal e que apresentam especificações técnicas adequadas para a realização deste ensaio. Antes de qualquer conjunto de medições os equipamentos que constam na tabela 2 foram sujeitos a ensaios de verificação do seu estado de funcionamento (resposta em frequência, linearidade e resposta acústica) de acordo com a norma IEC 60804.

Tabela 2- Equipamentos utilizados pela comissão técnica

Sonómetro	B&K 2260	B&K 2231	CEL 573 C1	O1dB Symphonie	RION NA27
Microfone	B&K 4189	B&K 4155	CEL 250	GRAS 40AF	RION UC53-A
Calibrador	B&K 4231	B&K 4231	CEL 284-2	O1dB CAL01	B&K 4226

Foram convidados a participar Laboratórios de Ensaios Acreditados para a área da Acústica, assim como também outros laboratórios interessados nesta área. Cada laboratório foi convidado a levar o seu equipamento de medição e respectivos protectores auriculares, dispondo cada participante de 4 horas para realizar medições na sala receptora, devendo seguir a sua rotina normal no que respeita a operadores e equipamento. Antes de cada ensaio foi fornecido a cada participante uma ficha de registo de ensaio para a identificação do laboratório participante, data do ensaio e equipamento utilizado, registo das condições ambientais na sala receptora e resultados obtidos ($L_{Aeq,T} R.A$ e $L_{Aeq,T} R.R$) por ponto de medição com a respectiva localização em planta e tempo de medição utilizado. Nesta ficha era igualmente solicitada a identificação de correcções ao nível de avaliação e o respectivo calculo. Os valores finais deviam ser arredondados à unidade tendo sido cedido a cada laboratório uma comunicação editada pela RELACRE referente a este assunto. Na tabela 3 são identificados as entidades participantes neste ensaio, por ordem sequencial de realização de medições. No entanto, e com o intuito de garantir a confidencialidade dos resultados, utilizou-se um código alfanumérico para a avaliação do desempenho dos participantes e que nada tem a haver com a ordem de apresentação da tabela 3.

Tabela 3- *Laboratórios participantes*

Laboratórios participantes	Data Ensaio	Condições Ensaio T (°C); HR(%); P (hPa)
DRE Alentejo	22-Set	22;63;1009
Governo Civil de Braga	22-Set	22;61;1009
ENARPUR	23-Set	22;62;1011
ENVIRO – Engenharia e Gestão Ambiental, Lda	23-Set	22;60;1012
MMLab - Manuel Martins Lda (Laboratório)	24-Set	22;65;1011
ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade	25-Set	22;60;1011
PROTERMIA	25-Set	23;65;1005
CATIM	26-Set	23;61;1004
CONTRARUÍDO – Laboratório de Medições Acústicas	26-Set	23;63;993
IGM – Laboratório	29-Set	22;62;990
Câmara Municipal de Cascais	29-Set	22;61;995
INEGI - LCA	30-Set	22;42;1010
Instituto da Construção - FEUP	1-Out	22;43;1009
ARLab - A. Ramalhão	2-Out	22;46;1015
IEP - Instituto Electrotécnico Português	6-Out	21;49;1014
INSA Dr Ricardo Jorge - Porto	6-Out	21;51;1013
CINFU	7-Out	21;49;1011
DRE Algarve	7-Out	21;50;1012
IA – Instituto do Ambiente	7-Out	22;51;1011
LenSIEB	8-Out	21;61;1008
Lab. Física e Tecnologia Construções - U.Minho	8-Out	22;62;1006
dBLab	8-Out	22;63;1009
GELTRO	13-Out	22;61;1009
PEDAMB	13-Out	22;62;1011

2.RESULTADOS OBTIDOS

2.1 Resultados obtidos pela comissão técnica

A comissão técnica realizou medições nos 19 pontos em grelha rectangular distribuídos pela sala receptora, utilizando-se para o efeito um tempo de medição de 10 minutos em cada ponto. No entanto, para a determinação do valor de referência foram seleccionados os resultados obtidos nos três pontos em perfil diagonal de modo a maximizar eventuais problemas de homogeneidade. Estes pontos correspondem aos quadrados maiores preenchidos a preto com cruz a branco da figura 1. O resultado da medição (média) foi obtido a partir da média logarítmica para estes 3 pontos de acordo com a expressão (4), para cada série de medições (início, meio e final).

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 10^{(L_{Aeq,t})i/10} \right] \quad (4)$$

Na tabela 4 apresentam-se os resultados para cada série de medições (média), os desvios padrão respectivos (calculados logaritmicamente e representados pela sigla D.P) utilizados para estabelecer os valores de referência (V.Ref) e Desvio Unitário (S), necessários para aplicação da fórmula dos 'Z-scores' na avaliação de desempenho dos participantes. Nesta tabela são igualmente apresentados os valores máximos e mínimos obtidos para o conjunto de 19 pontos medição distribuídos pela sala receptora em cada série de medições.

Tabela 4 - Resultados das medições da Comissão Técnica

	Ruído Residual [dB(A)]				Ruído Ambiente [dB(A)]			
	Média	D.P.	Max	Min	Média	D.P.	Max	Min
Início	36,8	1,2	37,4	36,4	59,8	1,0	60,3	59,2
Meio	37,2	1,6	38,1	36,5	60,1	1,6	60,8	59,6
Final	37,2	0,9	38,3	36,5	60,2	0,9	60,7	58,7
V. Ref.	37,1	0,5	38,3	36,4	60,1	0,5	60,8	58,7
S	0,7				0,7			

2.2 Resultados obtidos pelos participantes

Todos os Laboratórios participantes seleccionaram 3 pontos de amostragem na sala em questão, conforme indicado na figura ao lado, com excepção dos Laboratórios L13 e L14, que seleccionaram 4 pontos de amostragem. Os pontos de medição seleccionados pela Comissão Técnica para estabelecer os Valores de Referência estão representados na figura 2 pelos quadrados maiores preenchidos a preto e com cruz a branco. Durante todas as medições efectuadas pelos laboratórios participantes na sala receptora, foram realizadas na sala emissora medições do ruído ambiente durante a ocorrência do ruído particular de modo a aferir-se sobre a estabilidade da fonte sonora. Na figura 1 apresentam-se os resultados dessas medições. O coeficiente de correlação entre as medições na sala emissora e as medições dos participantes foi de 0,0025, pelo que não revela qualquer tendência ou correlação entre medições.

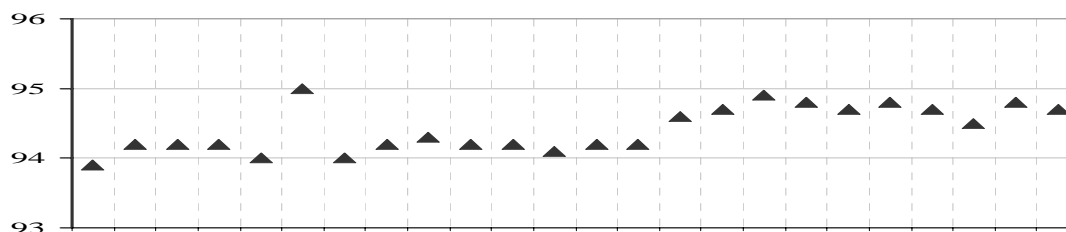


Figura 1 – Gráfico do $L_{Aeq,T} R.A$ na sala emissora [dB(A)]

Na tabela 5 apresentam-se os resultados das medições dos participantes. Pela análise desta tabela, verifica-se que as medições foram bastantes concordantes entre si e com os valores de referência (dentro das tolerâncias estabelecidas), tendo todos os participantes detectado a existência de uma componente tonal do ruído ambiente durante a ocorrência do ruído particular dentro da gama de frequências de terço de oitava, centrada nos 2000 Hz.

Igualmente todos os participantes constataram a ausência de componente impulsiva e aplicaram correctamente o critério para a avaliação de incomodidade de uma fonte sonora (traduzido pelas expressões 1 e 3).

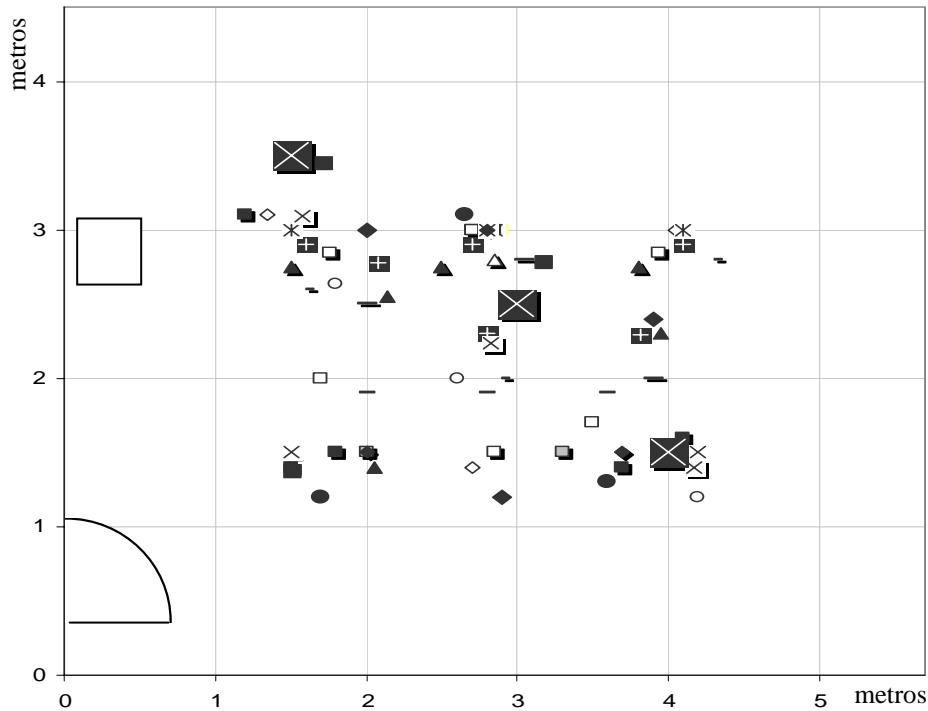


Figura 2 - *Disposição dos pontos de medição dos Laboratórios e Comissão Técnica (quadrados maiores preenchidos a preto com cruz a branco)*

3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS PARTICIPANTES

Para a avaliação do desempenho dos participantes foi utilizado o método dos 'Z-scores' definido pela expressão:

$$Z = \frac{(V_{Lab} - V_{Ref})}{S} \quad (5)$$

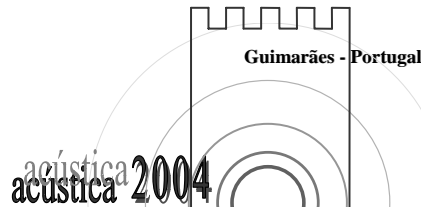
Em que Z representa o 'Z-score'; V_{Ref} o valor de referência ($L_{AR,T} = 63,1$ dB(A) e $L_{Aeq,T} R.R. = 37,1$ dB(A)); V_{Lab} os valores obtidos pelo laboratório (valores $L_{AR,T}$ e $L_{Aeq,T} R.R.$ da tabela 5) e S o desvio unitário (igual a 0,7 dB(A), como se indica na tabela 4). Considera-se satisfatório os desempenhos que obtenham um valor de 'Z-score' compreendido entre -3 e +3. Na figura 3 apresentam-se os gráficos de desempenho dos participantes para o nível de avaliação e para o ruído residual.

Tabela 5 - Resultados das medições dos participantes

Participante	$L_{Aeq,T}$ R.A.	K_ Impulsivo	K_ Tonal	$L_{AR,T}$	$L_{Aeq,T}$ R.R.	$L_{AR,T}$ - $L_{Aeq,T}$ R.R.
L1	60,8	0	3	63,8	38,5	25
L2	61	0	3	64	37	27
L3	60,3	0	3	63,3	36,9	26
L4	60,3	0	3	63,3	37,7	26
L5	60,9	0	3	63,9	37,5	26
L6	60,4	0	3	63,4	37,1	26,3
L7	60,4	0	3	63,4	37,9	26
L8	60,6	0	3	63,6	37,5	26,1
L9	60,6	0	3	63,6	37,4	26,2
L10	61	0	3	64	38	26,1
L11	60,3	0	3	63,3	36,9	26,4
L12	60,6	0	3	63,6	37,5	26
L13	60,6	0	3	63,6	38,1	25,6
L14	60,6	0	3	63,6	37,9	26
L15	60,5	0	3	63,5	37,5	26
L16	60,61	0	3	63,61	36,71	27
L17	60,9	0	3	63,9	36,6	27
L18	60,7	0	3	63,7	38,2	26
L19	60,6	0	3	63,6	37,6	26
L20	61,2	0	3	64,2	37,5	27
L21	61	0	3	64	37	27
L22	60,8	0	3	63,8	37,5	26
L23	60,6	0	3	63,6	37,3	26
L24	60,5	0	3	63,5	37,4	26



Figura 3 - Gráfico de desempenho dos participantes para o nível de avaliação e medição do ruído residual



4. CONCLUSÕES

Pela análise dos resultados da tabela 5 verifica-se que o desvio médio de reprodutibilidade entre os resultados obtidos e o valor de referência é igual a 0,6 dB(A) para o nível de avaliação do ruído ambiente durante a ocorrência do ruído particular e igual a 0,4 dB(A) para o ruído residual. A estes valores estão associadas contribuições para a incerteza padrão de, respectivamente, 0,35 dB(A) e 0,23dB(A). Deste modo, para um intervalo de confiança de 95% teríamos uma incerteza de medição expandida igual, respectivamente, a 0,7 dB(A) e 0,5 dB(A). Desta forma e face aos resultados obtidos, pensa-se que é oportuno realçar a dispersão obtida, devendo-se ter sempre em conta a sua existência, quer a nível de apresentação de resultados (com o arredondamento à unidade), quer num futuro próximo, na definição de limites regulamentares com um intervalo de dispersão.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Direcção Regional do Ministério da Economia do Norte pela cedência das instalações onde decorreram os ensaios. Agradece-se igualmente aos técnicos Fernando Mateus e Sandra Sousa do LNEC e ao técnico Rui Sousa da Direcção Regional do Ministério da Economia do Norte pelo contributo que deram na realização de medições. Finalmente agradece-se às firmas Ambergo e MRA Instrumentação pela cedência de equipamentos que foram utilizados pela comissão técnica.

REFERENCIAS

- [1] Regime Legal da Poluição Sonora- Aprovado pelo Decreto-Lei nº 292/2000 de 14 de Novembro.
- [2] NP 1730-1: 1996; Acústica – *Descrição e medição do ruído ambiente* - Parte 1: Grandezas fundamentais e procedimentos.
- [3] NP 1730-2: 1996; Acústica – *Descrição e medição do ruído ambiente* - Parte 2: Recolha de dados relevantes para uso do solo.
- [4] NP 1730-3: 1996; Acústica – *Descrição e medição do ruído ambiente* - Parte 3: Aplicação aos limites de ruído.
- [5] Procedimentos Específicos de Medição de Ruído Ambiente. Instituto do Ambiente- Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. Abril de 2003 (acessível em www.iambiente.pt)