

# RUÍDO DE EQUIPAMENTOS ELECTROMECHANICOS EM ESPAÇOS OCUPADOS

**Carlos Penedo**

CERTIPROJECTO, LDA., Av. das Descobertas n.º1011, 2785-786 S. Domingos de Rana, Portugal  
(carlos\_penedo@yahoo.com)

## **Resumo**

O conhecimento dos princípios psico-fisiológicos que influenciam o modo como os auditores ouvem e entendem o ruído, levou à definição de critérios de conforto acústico actualmente utilizados na especialidade. Recorrendo a critérios com aplicação prática generalizada, são avaliados casos exemplares retractando situações correntes de intrusão de ruído, com origem em equipamentos electromecânicos, afectando espaços ocupados, com o objectivo de discutir a adequabilidade da utilização desses critérios. Visando avaliar o enquadramento regulamentar nacional em vigor sobre o tema, analisam-se os mesmos casos exemplares à luz dos critérios legais aplicáveis. Tecem-se considerações sobre a análise realizada e os resultados obtidos para os casos exemplares, confrontando-se a avaliação resultante dos critérios de conforto acústico com a avaliação dos critérios regulamentares considerados.

**Palavras-chave:** ruído, critérios, conforto, incomodidade.

## **Abstract**

The knowledge of the psycho-physiological principles that influence the way in which subjects listen and understand annoyance from intruding noise, led to the definition of the acoustical comfort criteria presented in this paper, that are used in our days. Regarding the criteria with generalized practical application, some case-studies illustrating situations of noise intrusion, with origin in electromechanical equipment affecting occupied spaces, are evaluated and discussed. The same case-studies are evaluated considering the Portuguese legal requirements, and confronting them with the results obtained from the comfort criteria.

**Keywords:** noise, criteria, comfort, annoyance.

## **1 Introdução**

Quando os ocupantes de um espaço apresentam reclamações devido a ruídos de natureza intrusiva, deverão ser empregues métodos de avaliação acústica com vista a determinar de que forma esses estímulos sonoros podem ser efectivamente responsáveis pelas situações de perturbação relatadas. Neste sentido, durante o século XX foram desenvolvidos os métodos de avaliação e critérios acústicos empregues hoje em dia em situações diversificadas, com o objectivo de adequar o ambiente acústico

de espaços ocupados às correspondentes exigências de conforto relacionadas com as actividades previstas. Também a este respeito, o actual enquadramento regulamentar nacional estabelece critérios legais que deverão ser atendidos não só em situação de reclamação efectiva por parte de cidadãos expostos ao ruído em espaços ocupados, como também em fase de projecto de um novo edifício.

## 2 Critérios de Conforto Acústico

Com o aumento actual do ênfase sobre o conforto sensorial, o “conforto acústico” e a “qualidade sonora” têm vindo a tornar-se cada vez mais importantes no estabelecimento de novos critérios de avaliação visando a análise das reclamações relativas à ocorrência de ruído excessivo e intrusivo. Os critérios de avaliação de ruído em edifícios, e em espaços ocupados, ganharam importância relevante por volta de 1920, desde que foi reconhecido que o ruído poderia condicionar negativamente os ocupantes de edifícios, tanto em termos de produtividade, como em termos de incomodidade. Os critérios acústicos foram assim criados como forma de providenciar um método relativamente simples de determinar se uma reclamação devida a ruído excessivo deveria ser considerada válida. À medida que os métodos de avaliação foram sendo desenvolvidos, foram também sendo entendidas as características necessárias para se atingir um ambiente acústico satisfatório, culminando no aumento da complexidade desses critérios. Dado o conhecimento dos critérios e da avaliação resultante da aceitabilidade acústica de um determinado ambiente particular, tornou-se também possível especificar critérios acústicos para determinadas ocupações previstas, em espaços interiores de edifícios.

### 2.1 Nível Sonoro Global

Idealmente, seria mais fácil utilizar métodos de avaliação e critérios que resultassem na obtenção de valores únicos. No entanto, torna-se necessário aplicar as devidas correcções para adaptar a escala “linear” de medida à escala “ponderada” que reflectirá melhor a percepção auditiva do ouvido humano. Em 1933 os investigadores Fletcher e Munson [1] definiram as correcções a utilizar, que consistem em “filtros” de ponderação que derivam da resposta em frequência do ouvido em função da sensação auditiva, sendo definidos aproximadamente a partir do inverso das curvas de igual sensação auditiva de 40, 70 e 100 fone, correspondendo às malhas A, B e C, respectivamente. O campo de aplicação da malha de ponderação D restringe-se aos ruídos de aeronaves [2].

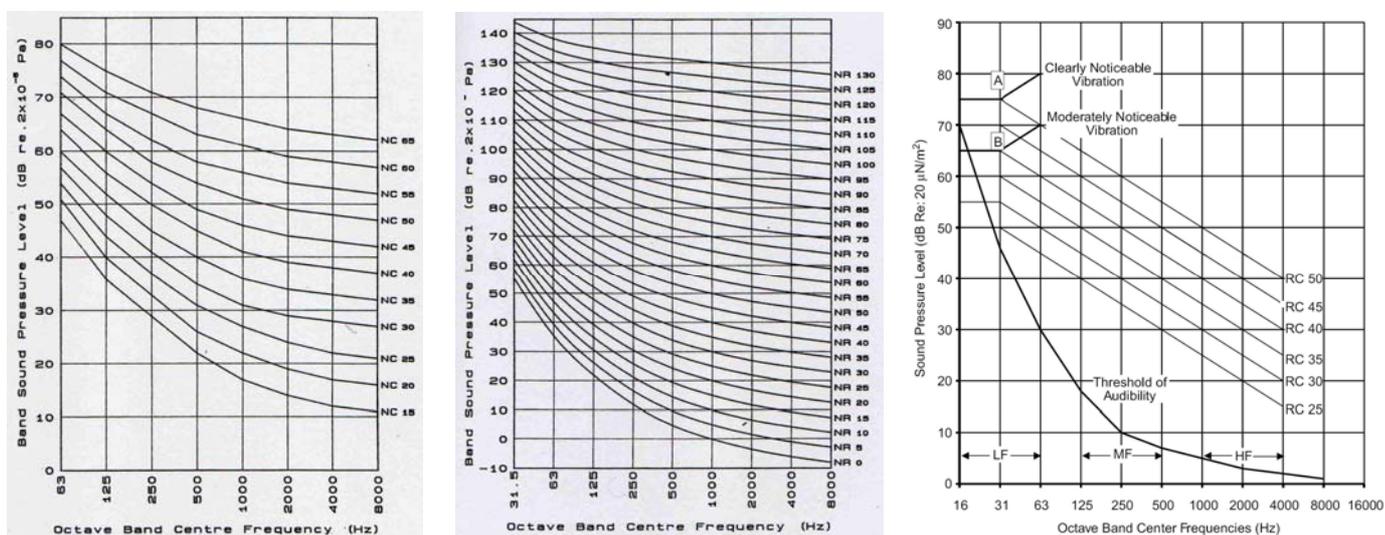
A partir destas distribuições, pode ser determinado o “nível sonoro global”, resultante da soma energética de todas as bandas de frequência resultantes da correcção do espectro do ruído perturbador por aplicação de uma determinada malha de ponderação. Recorre-se correntemente à utilização da malha de ponderação A resultará na utilização de unidades dB(A), para caracterizar o valor único obtido.

Contudo, a utilização de um método de um valor único não se afigura suficientemente adequada por desconsiderar a descrição espectral do ruído perturbador. Neste contexto, foram desenvolvidos métodos recorrendo à análise da descrição espectral do ruído perturbador, que se apresentam abaixo, e que estabelecem critérios com base em curvas no domínio do espectro para determinação do critério verificado. Cada curva traduzirá também um “valor único”, determinando todavia uma descrição espectral bem conhecida para o ruído em análise.

### 2.2 Curvas NC – Noise Criteria

Em 1957, o investigador Beranek [2] desenvolveu as curvas NC (*noise criteria*) a partir de entrevistas a um grupo alargado de pessoas permanecendo em diferentes ambientes, como escritórios, fábricas, espaços públicos, entre outros, e da caracterização dos respectivos níveis sonoros em cada ambiente,

com descrição espectral por bandas de 1/1 de oitava. O resultado qualitativo e estatístico desse estudo privilegiou principalmente a inteligibilidade do discurso e a possibilidade de criar condições acústicas adequadas ao desfrute de programas televisivos, radiofónicos ou de música em geral, e culminou no estabelecimento do critério NC (Fig.1), de utilização mais frequente nos Estados Unidos da América:



Figuras 1, 2 e 3 – Curvas NC [3], Curvas NR [3] e Curvas RC Mark II [4]

Este critério recorre ao método tangencial, através do qual é possível identificar uma curva NC correspondendo à curva a cujas bandas máximas do espectro de ruído mais se aproximam, sem a ultrapassar.

### 2.3 Curvas NR – Noise Rating

Em 1962, os investigadores Kosten e VanOs [1] estabeleceram o conjunto de curvas NR (*noise rating*) muito similar às curvas NC, recorrendo também ao método tangencial, tendo o seu uso sido generalizado na Europa (Fig.2, acima) [3]. Apesar de algumas diferenças na definição espectral das curvas, os valores critério das curvas NR, definidos em função da utilização dos espaços ocupados, podem considerar-se equivalentes aos valores NC.

### 2.4 Curvas PNC – Preferred Noise Criteria

Através da aplicação do conjunto de curvas NC, foi-se tornando aparente que o espectro sonoro de um determinado ruído que seguisse de perto uma curva NC não daria, em certas condições, origem a um som classificado como “sofrível”, mas sim a um som com características eventualmente incómodas, caracterizado como um “ronco” (*rumble*) ou um “silvo” (*hiss*). Neste sentido, em 1971, Beranek, Blazier e Figwer [2] promoveram a revisão das curvas NC, por forma a adequá-las a presença deste tipo de ruídos, resultando na criação das curvas PNC (*preferred noise criteria*).

### 2.5 Curvas RC – Room Criteria

Em 1981, o investigador Blazier [1] estabeleceu empiricamente o conjunto de curvas RC (*room criteria*) para aplicação preferencial como critério em espaços desocupados servidos por sistemas e instalações de aquecimento, ventilação e ar condicionado.

As curvas RC permitem uma caracterização dupla do espectro sonoro de um ruído, na forma geral RC xx (yy), onde xx indica a classificação RC e yy fornece informação acerca do balanceamento espectral desse ruído, de acordo com as seguintes características [2]: “neutro” (*neutral*), “ronco” (*rumble*) com ou sem excitação vibrática estrutural de paramentos, “silvo” (*hiss*) ou “tonal” (*tonal*).

Complementarmente, as curvas RC permitem ainda a análise das componentes de baixa frequência de 16, 31.5 e 63Hz, respeitante à probabilidade de indução de ruído por radiação sonora a partir de paramentos aligeirados da envolvente do espaço. Neste contexto, são definidas as seguintes regiões:

- **Região A:** se os níveis sonoros do ruído perturbador estiverem nesta região existirá uma “probabilidade elevada” de ser produzido ruído induzido por vibração de paramentos aligeirados, facilmente perceptível como estímulo audível ou ao tacto;
- **Região B:** se os níveis sonoros do ruído perturbador estiverem nesta região existirá uma “probabilidade moderada” de ser produzido ruído induzido por vibração de paramentos aligeirados;

## 2.6 Curvas LFRC – Low Frequency Room Criteria

Em simultâneo com Blazier, em 1980 o investigador Broner desenvolveu estudos que permitiram concluir que os métodos de avaliação e critérios disponíveis à data não permitiam atingir padrões adequados de qualidade sonora, respeitantes à presença de incómodo causado por ruídos de baixa frequência com nível sonoro reduzido [1]. Partindo de estudos realizados, nos quais identificou situações em que espectros sonoros verificando critérios NC e NR não evitam a incomodidade por ruído baixa frequência, Broner desenvolveu o conjunto de curvas LFNR (*low frequency noise rating*) com uma descrição espectral mais “fina”, definidas em bandas de 1/3 de oitava, em oposição à análise em bandas de 1/1 de oitava utilizada até então. As curvas LFNR são baseadas nas curvas NR, embora admitam bastante menos energia nas baixas frequências, atendendo-se ao facto de que os ocupantes reagem fortemente a ruído de baixa frequência quando o espectro sonoro se encontra desequilibrado. Baseando-se neste estudo, Broner propôs em 1994 a modificação das curvas RC de acordo com um novo conjunto de curvas LFRC (*low frequency room criteria*) [1].

## 2.7 Curvas NCB – Balanced Noise Criteria

Em 1989, Beranek [2] estabeleceu as curvas NCB (*balanced noise criteria*), derivando também das curvas NC, cuja diferença mais significativa consiste na extensão das curvas até à banda de oitava de frequência central de 16Hz, por forma a complementar a avaliação dos estímulos sonoros de baixa frequência, anteriormente identificados como *rumble*. O método de avaliação deste critério aproxima-se do desenvolvido para as curvas RC, considerando tanto uma classificação numérica, como uma descrição do balanceamento do espectro de frequências.

## 2.8 Curvas RC Mark II – Room Criteria (revisão)

Em 1997, e como resultado dos desenvolvimentos sobre o tema do ruído de baixa frequência, Blazier propôs a revisão do critério RC anteriormente definido pelo critério RC Mark II [1] (Fig.3, acima), consistindo em duas alterações principais:

- As curvas RC utilizadas no método RC Mark II são horizontais nas bandas de 16 e 31,5Hz, em vez de inclinadas (indo de encontro às curvas LFRC);
- O método RC Mark II difere na forma como as características qualitativas do ruído são determinadas;

Mantêm-se as regiões A e B identificando a probabilidade de ruído induzido por vibração de paramentos aligeirados da envolvente do espaço.

Considera-se a divisão do espectro em três zonas distintas: baixa frequência LF (16 a 63Hz), média frequência MF (125 a 500Hz) e alta frequência HF (1000 a 4000Hz). A presença de níveis sonoros excessivos nessas zonas são indicados como sendo apercebidos como “ronco” (*rumble*), “rugido” (*roar*) e “silvo” (*hiss*), respectivamente.

Na segunda alteração referida acima, o método RC Mark II utiliza duas novas quantidades para a determinação das características qualitativas do ruído, consistindo nos “factores de desvio da média energética espectral ( $\Delta LF$ ,  $\Delta MF$  e  $\Delta HF$ )” e no “índice de avaliação qualitativa” (*quality assessment index*, QAI) [4].

Tendo sido terminada a designação completa “RC xx (yy)” do espectro do ruído de fundo, esta deve ser classificada de forma subjectiva através dos termos “aceitável”, “marginal” ou “objeccionável”, classificação que permite prever a forma como um ocupante de um espaço possa responder a um determinado espectro sonoro.

As “curvas” recomendadas para cumprimento do critério RC Mark II são definidas em função dos tipos de ocupação prevista para os espaços [5].

### 3 Aplicabilidade dos Critérios de Conforto Acústico a Ruídos de Fundo Frequentemente Presentes em Espaços Ocupados de Edifícios

Apresentam-se três casos exemplares de situações concretas, recolhidas no decurso da actividade profissional, retractando circunstâncias habitualmente alvo de queixas por parte dos ocupantes devido a incomodidade ou desconforto acústico, considerando a intrusão de ruído de equipamentos electromecânicos em espaços interiores ocupados requerendo condições de sossego e concentração. São aplicados, a cada um desses casos, alguns dos critérios de conforto acústico anteriormente apresentados, tendo como objectivo discutir a sua adequabilidade como método de avaliação de situações práticas do quotidiano.

#### 3.1 Descrição dos Casos Exemplares

	<b>Caso Exemplar A:</b>	<b>Caso Exemplar B:</b>	<b>Caso Exemplar C:</b>
Espaço ocupado:	Escritório amplo, do tipo “open-space”	Escritório amplo (open-space), no último piso de um edifício	Quarto de dormir de uma habitação, no 1º piso do edifício
Tipo de edifício:	Edifício de serviços, integrando pisos de escritórios com fachadas envidraçadas amplas	Edifício de serviços, integrando equipamentos de AVAC instalados na cobertura do edifício, associados à actividade desenvolvida pelos ocupantes	Edifício integrando estabelecimento comercial no piso térreo e habitações nos restantes pisos elevados
Envolvente ao edifício:	Parque empresarial, integrando diversos edifícios de serviços	Parque empresarial, integrando diversos edifícios de serviços	Zona residencial com algum comércio tradicional
Ruído intrusivo:	Ruído originado em equipamentos de AVAC afectos a um edifício vizinho próximo, com operação em contínuo entre as 07 e as 20 horas	Ruído estrutural originado nos equipamentos AVAC instalados na cobertura do edifício, posicionados directamente sobre o espaço ocupado	Ruído estrutural originado nos equipamentos de refrigeração do estabelecimento, posicionados sob o espaço ocupado, com funcionamento em contínuo durante as 24 horas do dia (o incómodo pressentido pelos ocupantes ocorre durante a noite)

### 3.2 Características Acústicas de Interesse

Segue-se a descrição espectral dos ruídos residual e perturbador para cada caso exemplar:

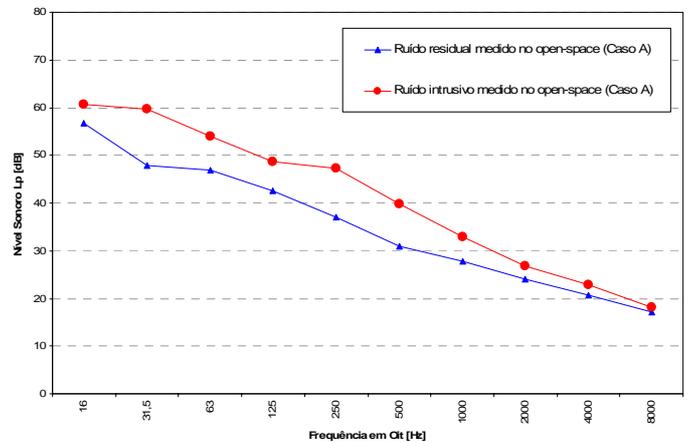
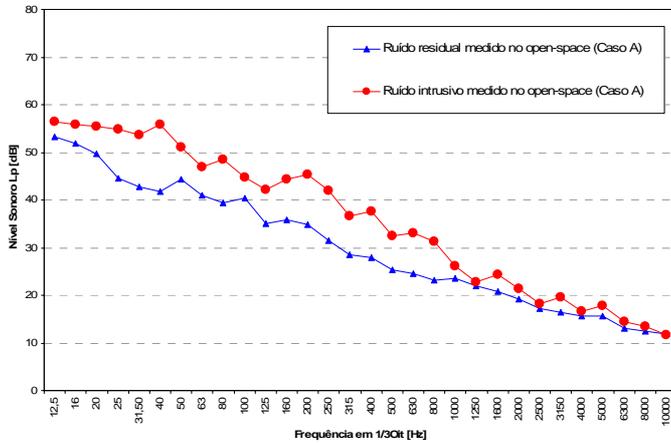


Gráfico 1 e 2 – Caso exemplar A: Espectro em bandas de 1/3 de oitava e em bandas de 1/1 de oitava

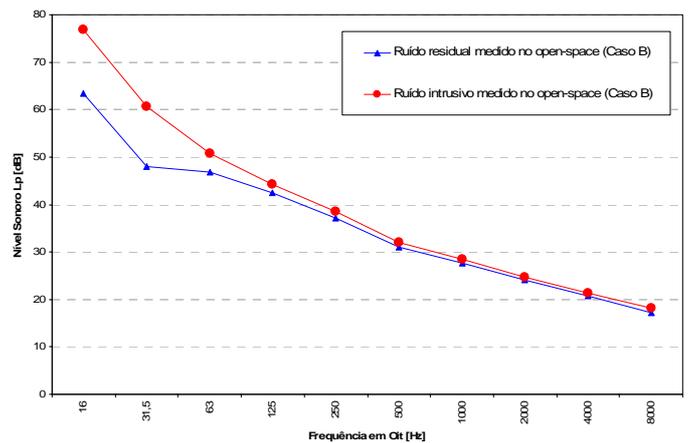
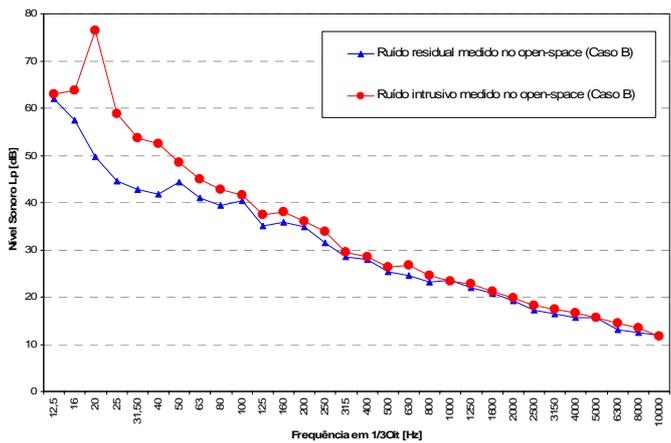


Gráfico 3 e 4 – Caso exemplar B: Espectro em bandas de 1/3 de oitava e em bandas de 1/1 de oitava

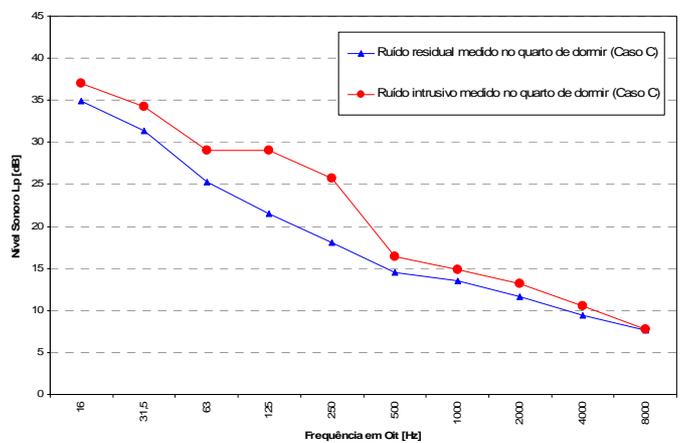
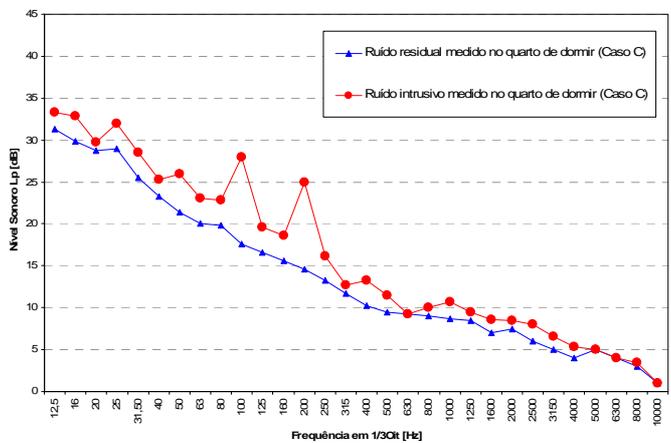


Gráfico 5 e 6 – Caso exemplar C: Espectro em bandas de 1/3 de oitava e em bandas de 1/1 de oitava

Seguem-se os níveis sonoros globais que caracterizam os ruídos residual e perturbador de cada caso:

	Caso Exemplar A		Caso Exemplar B		Caso Exemplar C	
	Leq [dB]	LAeq [dB(A)]	Leq [dB]	LAeq [dB(A)]	Leq [dB]	LAeq [dB(A)]
Ruído residual	57,8	34,8	63,7	34,8	37,0	19,2
Ruído perturbador	63,9	42,4	76,9	36,0	39,9	22,3

Quadro 1 – Níveis sonoros dos ruídos analisados

### 3.3 Critérios Acústicos Avaliados

Apresentam-se os resultados da aplicação de alguns critérios de conforto acústico referidos atrás:

	Caso Exemplar A	Caso Exemplar B	Caso Exemplar C
Critério NC	NC 35+2	NC 25+2	NC 15
Critério NR	NR 37	NR 28	NR 17
Critério RC Mark II:			
Curva RC verificada	RC33	RC 28	RC 15
Factores de desvio da média energética espectral	$\Delta$ LF	1,6	17,2
	$\Delta$ MF	2,4	0
	$\Delta$ HF	-0,6	1,6
Índice de avaliação qualitativa, QAI	3	17,2	13,8
Classificação completa	RC 33 (N)	RC 28 (LFV <sub>A</sub> )	RC 15 (HF)
Resposta subjectiva por parte de ocupantes expostos	Aceitável	Objecionável	Objecionável

Quadro 2 – Resultados dos critérios acústicos aplicados

### 3.4 Análise e Discussão de Resultados

Seguem-se a análise e discussão dos resultados obtidos, para cada um dos três casos exemplares:

#### Caso Exemplar A:

- O espectro sonoro apresenta descrição espectral bastante uniforme e balanceada, quer em 1/3 de oitava, quer em 1/1 de oitava;
- O ruído perturbador origina acréscimos de 7,6 dB(A) e de 6,1 dB, em relação ao ruído residual, o que se traduzirá, eventualmente, na percepção pelos ocupantes da presença do ruído intrusivo no ambiente acústico do espaço;
- Os critérios tangenciais NC e NR apresentam resultados praticamente idênticos (curvas de valor 37), pelo que nenhum se destaca como mais ou menos adequado. Face aos valores recomendados das curvas [3], pode verificar-se que o critério máximo admissível (NC/NR 40) é satisfeito;
- O critério RC Mark II traduz a uniformidade já referida do espectro, com balanceamento equilibrado ao longo das zonas das baixas, médias e altas frequências, como pode ser percebido pela proximidade dos valores de desvio  $\Delta$ LF,  $\Delta$ MF e  $\Delta$ HF, e pelo valor do índice QAI=3, resultando na classificação neutra (N) do espectro. Consequentemente, a resposta subjectiva será “aceitável” [5]. Face aos valores recomendados [5], o resultado RC 33 (N) permite satisfazer o critério de ocupação do espaço de tipo “open-space” (RC 30/40 (N), com QAI  $\leq$  5).

**Caso Exemplar B:**

- O espectro sonoro apresenta descrição espectral com perturbação significativa na zona das baixas frequências, traduzindo conspicuidade acentuada na banda de 20Hz, consequência da transmissão de estímulos vibráticos pela estrutura do edifício, originados nos equipamentos electromecânicos instalados na cobertura técnica. Considera-se que estes estímulos são consequentemente radiados pelos paramentos aligeirados que constituem a compartimentação da sala, sob a forma de ruído aéreo para o interior do espaço ocupado.
- É notório, em particular pelo análise da descrição espectral em bandas de 1/3 de oitava, que existe um desequilíbrio no balanceamento do espectro, agravando a zona das baixas frequências;
- Face aos níveis sonoros de ruído residual, o ruído perturbador origina acréscimos de 1,5 dB(A) e de 13,2 dB, constatando-se que a diferença verificada sob influência da ponderação da malha A não ilustra a magnitude dos estímulos sonoros em presença nas baixas frequências, como acontece com a escala linear;
- Os critérios tangenciais NC e NR apresentam resultados quase idênticos (curvas de valor 27/28), pelo que nenhum se destaca como mais ou menos adequado. Face aos valores recomendados [3], pode verificar-se que o critério máximo admissível (NC/NR 40) é satisfeito com grande margem de tolerância, negligenciando a presença dos estímulos conspicuos intensos nas bandas mais baixas;
- O critério RC Mark II permite avaliar o desequilíbrio do balanceamento do espectro do ruído intrusivo, contrariamente ao que sucede para os critérios tangenciais. Pode verificar-se que a componente conspícua dos 20Hz é responsável pelo elevado desvio  $\Delta LF=17,2$ , em relação aos desvios  $\Delta MF=0$  e  $\Delta HF=1,6$ , resultando no índice  $QAI=17,2$  que, à partida, originará a sensação auditiva *rumble* e a classificação LF.

Acresce o facto de que a componente conspícua dos 20Hz apresenta intensidade sonora suficiente para elevar a banda de oitava de 16Hz até à região A, alterando por isso a classificação LF para  $LFV_A$  e originando probabilidade elevada da percepção auditiva de estímulos sonoros decorrentes da indução vibrática nos paramentos aligeirados da compartimentação do espaço, eventualmente sensíveis ao toque. Toda esta conjuntura leva à classificação subjectiva “objeccionável” da resposta dos ocupantes [5], classificação que permite alertar para o facto de que, apesar da curva verificada RC 28 ser inferior à curva máxima recomendada RC 40 [5], o ambiente acústico do “open-space” não será adequado ao desempenho das actividades previstas. A classificação completa RC 28 ( $LFV_A$ ) pretende traduzir esta situação.

**Caso Exemplar C:**

- A descrição espectral do ruído perturbador apresenta duas componentes conspícuas (100 e 200Hz), detectáveis na descrição em bandas de 1/3 de oitava, sendo que para além destes estímulos particulares, o espectro sonoro do ruído perturbador não se distancia muito do espectro do ruído de fundo;
- Este facto é também perceptível pelos valores de acréscimo que o ruído perturbador origina em relação ao ruído residual (3,1 dB(A) e de 2,9 dB), sendo praticamente idênticos e não traduzindo a influência das componentes conspícuas detectadas;
- Os critérios tangenciais NC e NR resultam em curvas de valor relativamente próximo (NC 15 e NR 17), que também não permitem reflectir a presença ou influência das componentes conspícuas existentes, embora verifiquem os valores recomendados (NC/NR 25) [3];
- O critério RC Mark II traduz uma curva RC 15, curiosamente de valor próximo aos das curvas NC e NR resultantes dos métodos tangenciais. Este critério desconsidera também a presença das componentes conspícuas de 100 e 200Hz, oferecendo uma avaliação errónea e que não será plausível, por considerar que o ruído apresenta característica de “silvo” (*hiss*) por apresentar um desequilíbrio espectral que penaliza as altas frequências ( $\Delta HF=3,6$ ), em relação às baixas ( $\Delta LF=-10,2$ ) e médias frequências ( $\Delta MF=-0,7$ ). Uma vez que o espectro se apresenta bastante

uniforme nas frequências mais altas (acima de 1kHz) e que os níveis sonoros ( $L_p$ ) são inferiores a 15dB, considera-se que o índice  $QAI=13,8$ , a classificação HF e a correspondente resposta subjectiva de “objeccionável” resultam na avaliação desapropriada da situação em análise. Através deste critério, a presença das componentes conspíquas seria desprezada e os valores recomendados para quartos de habitações (RC 25/35 (N), com  $QAI \leq 5$ ), [5], seriam verificados apenas condicionalmente.

## 4 CRITÉRIOS REGULAMENTARES SOBRE RUÍDO EM ESPAÇOS OCUPADOS

Dado o enquadramento social do problema do ruído em espaços ocupados de edifícios, considera-se de interesse a apresentação dos critérios regulamentares vigentes em Portugal, sobre o tema, permitindo a discussão da adequabilidade dos critérios regulamentares estabelecidos face às considerações e critérios explicitados atrás.

### 4.1 Regulamento Geral do Ruído

A legislação nacional em vigor relativa ao ruído encontra-se expressa no Regulamento Geral do Ruído (RGR), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro [6], e define critérios a cumprir para avaliação das condições ambientais acústicas estabelecidas no interior de espaços ocupados, quando em presença de ruídos de natureza intrusiva, dissociados das instalações técnicas afectas ao próprio edifício.

Os aspectos de interesse são estabelecidos no Artigo 13.º n.º 1, do RGR, relativos à instalação e exercício de actividades ruidosas permanentes, definidas como as “actividades que produzam ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se façam sentir os efeitos dessa fonte de ruído”. O parâmetro utilizado para aplicação do critério de incomodidade, consiste no Nível de Avaliação,  $L_{Ar}$ , definido no articulado constante no Anexo I, referido no ponto 5.º do RGR.

Retêm-se as seguintes exigências a considerar na avaliação em espaços ocupados de edifícios:

- Critério de Incomodidade:
  - $L_{Ar} - LA_{eq}(\text{ruído residual}) \leq 5 \text{ dB(A)}$ , entre as 7h e as 20h;
  - $L_{Ar} - LA_{eq}(\text{ruído residual}) \leq 4 \text{ dB(A)}$ , entre as 20h e as 23h;
  - $L_{Ar} - LA_{eq}(\text{ruído residual}) \leq 3 \text{ dB(A)}$ , entre as 23h e as 7h.
- Exceptua-se a aplicação do Critério de Incomodidade quando:
  - $L_{Ar} \leq 27 \text{ dB(A)}$ , no interior dos espaços ocupados em edifícios.

### 4.2 Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

A legislação em vigor relativa à construção de novos edifícios encontra-se expressa no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 96/2008, de 9 de Junho [7], e estabelece critérios a cumprir para avaliação das condições ambientais acústicas estabelecidas no interior de espaços ocupados, quando em presença de ruídos de natureza intrusiva, originados a partir de instalações técnicas colectivas associadas aos usos do próprio edifício.

Os requisitos acústicos são estabelecidos de forma diferenciada em função dos usos de cada edifício, apresentando-se resumidamente as exigências do articulado com interesse para o presente artigo, relativo aos “edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras” (Art.º 5.º) e “edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais” (Art.º 6.º), aos quais os casos exemplares se podem aplicar:

Locais	Nível de avaliação, LAr
<i>Alínea h) do Artigo 5.º - Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras</i>	
Quartos e zonas de estar dos fogos	$LAr \leq 35 \text{ dB (A)}$ (se o funcionamento do equipamento for intermitente)
	$LAr \leq 30 \text{ dB (A)}$ (se o funcionamento do equipamento for contínuo)
	$LAr \leq 40 \text{ dB (A)}$ (se o equipamento for um grupo gerador eléctrico de emergência)
<i>Alínea d) do Artigo 6.º - Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais</i>	
Locais situados no interior do edifício, onde se exerçam actividades que requeiram concentração e sossego	$LAr \leq 45 \text{ dB (A)}$ (se o funcionamento do equipamento for intermitente)
	$LAr \leq 40 \text{ dB (A)}$ (se o funcionamento do equipamento for contínuo)

Quadro 3 – Exigências regulamentares (RRAE) com interesse

### 4.3 Aplicação dos Critérios Regulamentares aos Casos Exemplares Estudados

Seguem-se a análise e discussão dos resultados obtidos, para cada um dos três casos exemplares:

#### Caso Exemplar A:

- O ruído intrusivo advém de instalações electromecânicas afectas a um edifício vizinho, independente do edifício que integra o espaço “open-space” em apreço, sendo propagado por via aérea e transmitido através da fachada envidraçada ampla deste espaço;
- Aplicam-se, por isso, os critérios regulamentares expressos no RGR, nomeadamente o Critério de Incomodidade, para o período de exposição ao ruído (das 7 às 20 horas), ou seja:

$$LAr - LAeq_{\text{(ruído residual)}} \leq 5 \text{ dB(A)}, \text{ entre as 7h e as 20h.}$$

Uma vez que se considera não existirem componentes “tonais” ( $K1=0$ ) ou impulsivas ( $K2=0$ ), o parâmetro “nível de avaliação LAr” é equivalente ao parâmetro  $LAeq_{\text{(ruído ambiente)}}$ , ou seja,  $LAr = 42,4 \text{ dB(A)}$ ;

O nível sonoro do ruído residual é  $LAeq_{\text{(ruído residual)}} = 34,8 \text{ dB(A)}$ ;

A aplicação da diferença regulamentar resulta em:

$$LAr - LAeq_{\text{(ruído residual)}} = 42,4 - 34,8 = 7,6 \text{ dB(A)} > 5 \text{ dB(A)}$$

Verifica-se, como tal, o incumprimento do Critério de Incomodidade;

- Uma vez que as instalações ruidosas que originam o ruído perturbador não estão associadas ao edifício que integra o “open-space”, não são aplicáveis as exigências regulamentares estabelecidas no RRAE, de acordo com o referido na alínea d) do n.º1 do Art.º 6º ( “...ruído particular de equipamentos do edifício...”);

#### Caso Exemplar B:

- O ruído intrusivo advém de instalações electromecânicas afectas ao edifício que integra o espaço “open-space” em apreço, sendo propagado por via sólida através da transmissão de estímulos vibráticos pela estrutura do edifício;
- Não são aplicáveis, por isso, os critérios regulamentares expressos no RGR, nomeadamente o Critério de Incomodidade, uma vez que o responsável pela fonte de ruído será também o responsável pela ocupação do “open-space”;
- Relativamente ao RRAE, e uma vez que o edifício se enquadra na categoria definida no Art.º 6.º “Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais”, serão aplicáveis as exigências definidas no n.º1 alínea d), nomeadamente o ponto ii) porque se considerar que o

equipamento que origina o ruído intrusivo apresenta regime contínuo de funcionamento. Como tal:

$L_{Ar,nT} \leq 37 \text{ dB(A)}$  (*funcionamento contínuo equipamento*)

Uma vez que se verifica a existência de componente “tonal” ( $K=3$ ), o parâmetro “nível de avaliação padronizado  $L_{Ar,nT}$ ” é agravado face ao parâmetro  $L_{Aeq}$  (ruído ambiente), ou seja,  $L_{Ar,nT} = 36,0 + 3 = 39,0 \text{ dB(A)}$ ;

(assume-se não existir necessidade de aplicação da correcção relativa ao tempo de reverberação, considerando que  $T=T_{projecto}$ )

A aplicação da exigência regulamentar resulta em:

$L_{Ar} = 39 \text{ dB(A)} > 37 \text{ dB(A)}$

Verifica-se, como tal, o incumprimento deste critério regulamentar, unicamente por força da contabilização da presença da componente conspícua (tonal) nos 20Hz, agravando o valor  $L_{Aeq}$  em +3 dB(A).

Caso a definição do  $L_{Ar}$  presente no RGR não considerasse esta penalização, o caso exemplar apresentado estaria em condições regulamentares conforme.

### Caso Exemplar C:

- O ruído intrusivo advém de equipamento de refrigeração afecto a um estabelecimento comercial existente no piso imediatamente abaixo da habitação exposta, sendo propagado por via sólida através da transmissão de estímulos vibráticos pela estrutura do edifício, e torna-se incomodativo para os ocupantes do quarto de dormir dessa habitação especialmente durante a noite;
- Aplicam-se, por isso, os critérios regulamentares expressos no RGR, nomeadamente o Critério de Incomodidade, para o período de declarada exposição ao ruído (das 23 às 7 horas), ou seja:

$L_{Ar} - L_{Aeq} \text{ (ruído residual)} \leq 3 \text{ dB(A)}$ , entre as 23h e as 7h.

O nível sonoro do ruído residual é  $L_{Aeq} \text{ (ruído residual)} = 19,2 \text{ dB(A)}$ ;

Uma vez que se verifica a existência de componentes “tonais” ( $K1=3$ ), mas não de componente impulsiva ( $K2=0$ ), o parâmetro “nível de avaliação  $L_{Ar}$ ” é agravado face ao parâmetro  $L_{Aeq}$  (ruído ambiente), ou seja,  $L_{Ar} = 22,3 + 3 = 25,3 \text{ dB(A)}$ ;

Desconsiderando, em primeira análise, o referido no n.º5 do Art.º 13.º do RGR, que condiciona a aplicação do Critério de Incomodidade apenas para condições acústicas em que “ $L_{Ar} \leq 27 \text{ dB(A)}$ , no interior dos espaços ocupados em edifícios”, a aplicação da diferença regulamentar resultaria em situação de incumprimento legal:

$L_{Ar} - L_{Aeq} \text{ (ruído residual)} = 25,3 - 19,2 = 6,1 \text{ dB(A)} > 3 \text{ dB(A)}$

Todavia, a condição de excepção da aplicação deste critério para níveis sonoros  $L_{Ar} \leq 27 \text{ dB(A)}$  iria resultar na aceitação regulamentar desta situação como situação conforme, subtraindo aos ocupantes/queixosos o direito de reclamação legal.

- Uma vez que as instalações ruidosas que originam o ruído perturbador não estão associadas ao edifício que integra a “habitação”, não são aplicáveis as exigências regulamentares estabelecidas no RRAE, de acordo com o referido na alínea h) do n.º1 do Art.º 5º ( “...ruído particular de equipamentos colectivos do edifício...”);

## 5 Conclusões

A selecção de qual o critério de conforto acústico a utilizar deverá ser ponderada em função das circunstâncias particulares de cada situação a avaliar, pelo que a utilização do parâmetro único  $L_{Aeq}$  ou das curvas NC, ou NR, deverá ser feita de forma crítica, procurando acautelar o julgamento correcto aquando da avaliação técnica de situações muito específicas.

Embora de natureza mais complexa, o critério RC Mark II apresenta-se mais adequado que os últimos, quando se pretenda privilegiar condições satisfatórias de comunicação oral e de qualidade sonora no mínimo aceitáveis.

Relativamente aos critérios regulamentares avaliados, salienta-se que estes se baseiam na análise de valores globais LAeq, com excepção da contabilização de características tonais no espectro de frequências do ruído perturbador, e que visam destinar-se à avaliação de situações de incomodidade (RGR) ou de condições ambientais adequadas para actividades que exijam sossego e concentração (RRAE).

Com base no estudo desenvolvido, pode referir-se que as avaliações realizadas quer utilizando os critérios de conforto acústico, quer através da aplicação dos critérios regulamentares em vigor, permitem concluir que a análise de situações particulares de incomodidade ou perturbação das actividades em espaços ocupados deverá recorrer ao conhecimento da descrição espectral das condições sonoras em presença, com avaliação crítica suportada pela conjugação de diversos critérios, entre os quais os apresentados e ensaiados neste artigo.

Para o caso exemplar A, apesar dos critérios de conforto acústico apontarem para a satisfação dos valores limite recomendados, os critérios regulamentares definidos no RGR apontam para uma situação de incumprimento legal, traduzida em incomodidade, face à relação entre ruído perturbador e o ruído residual.

Para o caso exemplar B, apenas alguns dos critérios de conforto se apresentaram adequados na avaliação do risco de desconforto acústico decorrente da presença do ruído perturbador, de características espectrais muito particulares. O critério regulamentar aplicável definido no RRAE foi ultrapassado unicamente por este contabilizar a presença de componentes tonais no espectro de frequências, mostrando alguma adequabilidade nesta avaliação.

Por outro lado, para o caso exemplar C, apesar da aplicação dos critérios regulamentares (RGR) apontar em primeira análise para o direito à reclamação legal por parte dos ocupantes expostos da habitação afectada, a condição excepcional de não-aplicação desse critério devido ao valor reduzido do parâmetro que caracteriza aquele ruído perturbador, subtrai esse direito àqueles ocupantes. Para este caso os critérios de conforto acústico não se mostraram vantajosos na avaliação duma eventual situação de incomodidade.

## Referências

- [1] Broner, N. “Rating and Assessment of Noise”. *EcoLibrium<sup>TM</sup>*, Março, 2005, pp. 21-25.
- [2] Beranek, L. L. “*Noise and vibration control*”, Revised Edition, Leo L. Beranek, Washington (USA), 1988.
- [3] Templeton, D. “*Acoustics in the built environment: advice for the design team*”, Architectural Press, London (UK), 1997
- [4] Cavanaugh Tocci, G. “Room Noise Criteria – The State of the Art in the Year 2000”, Cavanaugh Tocci Associates, Inc., Setembro, 2000
- [5] ASHRAE Handbook - HVAC Applications, Chapter 47, Atlanta (USA), 2007
- [6] “Regulamento Geral do Ruído”, Dec. Lei nº 9/2007, de 17 de Janeiro, Diário da República
- [7] “Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios”, Dec. Lei nº 96/2008, de 9 de Junho, Diário da República