

**PROLONGAMENTO DAS LINHAS AMARELA E VERDE:
VIADUTOS CAMPO GRANDE
METROPOLITANO DE LISBOA, E.P.E**

PROJETO DE EXECUÇÃO

LISTA DE PEÇAS ESCRITAS

TOMO III - ESTAÇÃO DO CAMPO GRANDE (NASCENTE)

ACONDICIONAMENTO ACÚSTICO



Metropolitano de Lisboa, E.P.E.

Plano de Expansão do Metropolitano de Lisboa - Prolongamento das Linhas Amarela e Verde
Empreitada de Projeto e Construção dos Toscos, Acabamentos e Sistemas
Viadutos do Campo Grande

GRID

INGÉROP

GEG

PROJETO DE EXECUÇÃO - TOSCOS, ACABAMENTOS E SISTEMAS

TOMO III – ESTAÇÃO DO CAMPO GRANDE (NASCENTE) – ACONDICIONAMENTO ACÚSTICO

CÓDIGO DOCUMENTO									CÓDIGO ML	DOCUMENTO	DATA
PRJ		FSP	ESP	OBR	IDO	TDC	NOR	IRV			
PEÇAS ESCRITAS											
VDCG	TXD	PE	CAC	EST	ECG	MD	99000	0	---	MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA	2021-06-09



**EMPREITADA DE PROJETO E CONSTRUÇÃO DOS TOSCOS, ACABAMENTOS
E SISTEMAS,**

**NO ÂMBITO DA CONCRETIZAÇÃO DO PLANO DE EXPANSÃO DO
METROPOLITANO DE LISBOA - PROLONGAMENTO DAS LINHAS AMARELA**

E VERDE - VIADUTOS DO CAMPO GRANDE - LOTE 3

CONTRATO 79/2020-ML

METROPOLITANO DE LISBOA, EPE

PROJETO DE EXECUÇÃO

**COMPORTAMENTO ACÚSTICO – ESTAÇÃO DO CAMPO
GRANDE**

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

DOCUMENTO N.º:	VDCG TXD PE CAC EST ECG MD 9900 0		
ELABORADO	NOME	ASSINATURA	DATA
	Joana Teixeira		2021-06-02
REVISTO	NOME	ASSINATURA	DATA
	Joana Teixeira		2021-06-02
VERIFICADO	NOME	ASSINATURA	DATA
	Carmina Costa		2021-06-02
APROVADO	NOME	ASSINATURA	DATA
	Luís Pedrosa		2021-06-02



PÁGINA EM BRANCO



REGISTO DE PÁGINAS APLICÁVEIS

REVISÃO	DATA	PÁGINA ALTERADA / INTRODUZIDA



REGISTO DE MODIFICAÇÕES DO DOCUMENTO

REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
0	2021-06-02	Emissão Inicial



ÍNDICE

1	OBJETIVO E ÂMBITO	7
2	DISPOSIÇÕES LEGAIS E CRITÉRIOS EXIGENCIAIS DE DESEMPENHO ACÚSTICO	7
2.1	ARTIGO 6º DO RRAE.....	8
2.2	ARTIGO 10º DO RRAE	10
2.3	ARTIGO 11º DO RGR	11
2.4	ARTIGO 13º DO RGR	11
3	MÉTODOS DE CÁLCULO	12
3.1	ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS	12
3.2	ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS DE PERCUSSÃO	16
3.3	TEMPO DE REVERBERAÇÃO	18
3.4	NÍVEL DE AVALIAÇÃO	19
3.5	EMISSÃO SONORA.....	20
4	SITUAÇÃO ATUAL	21
5	DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO DAS DISPOSIÇÕES REGULAMENTARES	22
5.1	ISOLAMENTO SONORO A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA EXTERIORES	22
5.2	ISOLAMENTO SONORO SONS DE PERCUSSÃO	23
5.3	TEMPO DE REVERBERAÇÃO	24
5.3.1	Artigo 6º do RRAE.....	24
5.3.2	Artigo 10º do RRAE.....	25
5.4	NÍVEL DE AVALIAÇÃO DO RUÍDO PARTICULAR DE EQUIPAMENTOS	26
5.5	EMISSÃO SONORA E INCOMODIDADE.....	27
5.5.1	Valores limite de exposição (Artigo 11.º 1-a e 1-c)	27
5.5.2	Atividades ruidosas permanentes (Artigo 13.º 1-b)	29
5.5.3	Barreiras Acústicas.....	30
6	CONCLUSÃO	32
	ANEXO DE CÁLCULO	33



ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Valores do coeficiente k (dB)	18
Quadro 2 – Caracterização dos elementos que compõem as fachadas do edifício	23
Quadro 3 – Revestimento adotados para controlo do tempo de reverberação (sala de repouso dos maquinistas).....	24
Quadro 4 – Coeficientes de absorção sonora dos materiais de revestimento (sala de repouso dos maquinistas).....	24
Quadro 5 – Revestimento adotados para controlo do tempo de reverberação (Cais)	25
Quadro 6 – Coeficientes de absorção sonora dos materiais de revestimento (cais).....	26
Quadro 7 – Caracterização dos equipamentos ruidosos a instalar no edifício.....	26
Quadro 8 – Caracterização dos elementos que compõem a cobertura do edifício	27
Quadro 9 – Verificação do Artigo 13º do RRAE	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Extrato do Mapa de Ruído Global - Indicador de Ruído Dia, Entardecer e Noite (LDEN) 2014, Fonte: CML/DMAEVCE/DAEAC/DAE, Dezembro 2019	21
Figura 2 - Extrato do Mapa de Ruído Global - Indicador de Ruído Noturno (LN) 2014, Fonte: CML/DMAEVCE/DAEAC/DAE, Dezembro 2019	22
Figura 3 – Localização do aumento do Cais Nascente e localização do ponto sensível mais próximo, Fonte: <i>Google Maps</i> , Maio 2021.....	29
Figura 4 – Implementação de barreiras acústicas – Planta	31
Figura 5 – Implementação de barreiras acústicas – Corte.....	31
Figura 6 – Aplicação de material absorvente sonoro (a azul) – Corte.....	32

1 OBJETIVO E ÂMBITO

A presente Memória Descritiva e Justificativa refere-se ao Projeto de Execução de Comportamento Acústico da Ampliação do Cais Nascente da Estação Campo Grande integrada na “Empreitada de Projeto e Construção dos Toscos, Acabamentos e Sistemas, no Âmbito da Concretização do Plano de Expansão do Metropolitano de Lisboa - Prolongamento das Linhas Amarela e Verde-Viadutos do Campo-Lote 3, PROC. Nº 126/2019 - DLO/ML”.

A Acústica tem vindo a tornar-se parte integrante de todo o trabalho de Engenharia e traduz uma preocupação clara de garantir a qualidade do ambiente sonoro de espaços com exigências definidas e do controlo dos níveis de ruído na envolvente.

A elaboração deste estudo visa, como tal, estudar e os efeitos internos e externos da propagação do ruído criado pela alteração a levar a efeito na Estação Campo Grande (ECG), de forma a garantir a qualidade do ambiente sonoro do espaço e assegurar a minimização dos impactes ambientais nos recetores sensíveis.

2 DISPOSIÇÕES LEGAIS E CRITÉRIOS EXIGENCIAIS DE DESEMPENHO ACÚSTICO

O Regulamento Geral do Ruído (RGR), publicado com o Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro e Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), publicado com o Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho, o qual altera o Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio, remetem para a necessidade de controlos preventivos ao nível do licenciamento municipal. Não deverá nenhum edifício estar liberto de cumprir os requisitos acústicos que lhe são diretamente exigidos pela legislação.

No âmbito destes documentos estabelecem-se para os edifícios diversos critérios de controlo de comportamento acústico, relativos à emissão de ruído para o exterior, à potencial incomodidade pelo funcionamento do edifício, às condições acústicas interiores e ao isolamento acústico.

No que diz respeito ao estudo aqui desenvolvido, salientam-se os seguintes artigos, os quais serão transcritos de seguida:

- Artigo 6.º do RRAE – Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais (aplicável ao aumento o edifício do prolongamento do cais nascente da ECG)
- Artigo 10.º do RRAE - Estações de transporte de passageiros (aplicável ao aumento do cais de embarque da ECG)
- Artigo 11.º do RGR alíneas a) e c) - Valores limite de exposição (aplicável ao empreendimento em geral e relativo aos valores da envolvente)
- Artigo 13.º do RGR alínea b) - Atividades ruidosas permanentes (aplicável ao empreendimento em geral e relativo à incomodidade nos recetores sensíveis)

2.1 ARTIGO 6º DO RRAE

Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea exteriores (Artigo 6.º 1-a)

O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$, entre o exterior dos edifícios, como local emissor, e os locais tipificados no quadro I do anexo ao presente Regulamento (escritórios ou recintos públicos de restauração), como locais recetores, deve satisfazer o seguinte:

$$D_{2m,nT,w} \geq 30\text{dB para os escritórios;}$$

$$D_{2m,nT,w} \geq 25 \text{ dB para os restantes recintos (refeitórios ou recintos públicos de restauração)}$$

Quando a área translúcida for superior a 60% do elemento da fachada, deve ser adicionado ao índice $D_{2m,nT,w}$ o termo de adaptação apropriado, C ou C_{tr} , conforme o tipo de ruído determinante na emissão, mantendo-se os limites acima descritos.

Estas exigências aplicam-se à envolvente exterior (elementos que constituem as suas fachadas tais como paredes, envidraçados e grelhas) dos diversos espaços. A verificação deverá ser efetuada individualmente para cada compartimento e não para a fachada na sua globalidade sendo lícito, para efeitos de cálculo, estudar somente a situação potencialmente mais gravosa.

Para os efeitos do disposto no RRAE, entende-se por Isolamento Sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m,nT}$, a diferença entre o nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2m da fachada do edifício ($L_{1,2 m}$), e o nível médio de pressão sonora medido no local de receção (L_2), corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, segundo a expressão:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2 m} - L_2 + 10 \log (T/T_0) \text{ [dB]}$$

onde:

T – tempo de reverberação do compartimento recetor, em segundos

T_0 – tempo de reverberação de referência, em segundos; para compartimentos de habitação ou com dimensões comparáveis, $T_0=0.5s$; para compartimentos em que haja tempo de reverberação atribuível em projeto, o valor de referência a considerar será o do respetivo tempo de dimensionamento.

De notar que esta expressão só é aplicável quando são conhecidos os níveis de pressão sonora $L_{1,2m}$ e L_2 medidos in situ. Assim, estima-se o índice $D_{2m,nT,w}$ recorrendo ao método de cálculo descrito no sub-capítulo 3.1., que constitui um modelo de previsão adequado em fase de projeto.

Índice de isolamento sonoro a sons de percussão (Artigo 6.º 1-b)

No interior dos escritórios, ou de recintos com vocação similar, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT,w}$, proveniente de uma excitação de percussão normalizada sobre pavimentos de outros locais do edifício, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte:

$$L'_{nT,w} \leq 60 \text{ dB}$$

Estas exigências aplicam-se aos elementos horizontais.

Para os efeitos do disposto no RRAE, entende-se por Isolamento Sonoro a sons de percussão padronizado, L'_{nT} , o nível sonoro médio (L_i) medido no compartimento recetor, proveniente de uma excitação de percussão normalizada exercida sobre um pavimento, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, segundo a expressão:

$$L'_n = L_i - 10 \log (T/T_0) \text{ [dB]}$$

onde:

T – tempo de reverberação do compartimento recetor, em segundos

T_0 – tempo de reverberação de referência, em segundos; para compartimentos de habitação ou com dimensões comparáveis, $T_0=0.5s$; para compartimentos em que haja tempo de reverberação atribuível em projeto, o valor de referência a considerar será o do respetivo tempo de dimensionamento.

De notar que esta expressão só é aplicável quando é conhecido o nível de pressão sonora L_i medido in situ. Assim, estima-se o índice L'_{nT} recorrendo ao método de cálculo descrito no sub-capítulo 3.2., que constitui um modelo de previsão adequado em fase de projeto.

Tempo de reverberação (Artigo 6.º 1-c)

No interior dos locais indicados no quadro I do anexo ao presente Regulamento (escritórios com volume superior a $100m^3$ e refeitórios), 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 seguintes condições:

$$T \leq 0,15 V^{1/3} \text{ [s]}$$

onde:

V – volume interior do recinto em causa (m^3)

Para efeitos do disposto no RRAE, entende-se por tempo de reverberação o intervalo de tempo necessário para que a energia volúmica do campo sonoro de um recinto fechado se reduza a um milionésimo do seu valor inicial.

Nível de Avaliação do Ruído de Equipamentos (Artigo 6.º 1-d)

Nos locais situados no interior do edifício onde se exerçam atividades que requeiram concentração e sossego, o nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$, do ruído particular de equipamentos do edifício deve satisfazer o seguinte:

$$L_{Ar,nT} \leq 42 \text{ dB(A)} \text{ (se o funcionamento do equipamento for intermitente);}$$

$$L_{Ar,nT} \leq 37 \text{ dB(A)} \text{ (se o funcionamento do equipamento for contínuo);}$$

O nível de avaliação padronizado, $L_{Ar,nT}$, é o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, durante um intervalo de tempo especificado, adicionado da correção devida às características tonais do ruído, K, e corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor. O índice L_{Ar} estima-se recorrendo ao método de cálculo descrito no sub-capítulo 3.5., que constitui um modelo de previsão adequado em fase de projeto.

2.2 ARTIGO 10º DO RRAE

Tempo de reverberação (Artigo 10.º)

No interior dos átrios ou salas de embarque das estações de transporte de passageiros, de volume superior a 350 m³, 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 seguintes condições:

$$T \leq 0,15 V^{1/3} \text{ [s]}$$

$$T \leq 0,12 V^{1/3} \text{ [s]}, \text{ se os espaços forem dotados de sistema de difusão pública de mensagens sonoras}$$

onde:

V – volume interior do recinto em causa (m³)

Para efeitos do disposto no RRAE, entende-se por tempo de reverberação o intervalo de tempo necessário para que a energia volúmica do campo sonoro de um recinto fechado se reduza a um milionésimo do seu valor inicial.

2.3 ARTIGO 11º DO RGR

Valores limite de exposição (Artigo 11.º 1-a e 1-c)

Artigo 11.º 1-a

As zonas mistas não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65dB(A) expresso pelo indicador L_{den} e superior a 55dB(A) expresso pelo indicador L_n .

Artigo 11.º 1-c

As zonas sensíveis em cuja proximidade exista em exploração, à data da entrada em vigor do presente Regulamento, uma grande infraestrutura de transporte não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador L_n ;

No RGR, o indicador de ruído diurno-entardecer-noturno, L_{den} , é definido como sendo o indicador de ruído, expresso em dB(A), associado ao incómodo global, dado pela expressão:

$$L_{den} = 10 \times \log \frac{1}{24} \left[13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e + 5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n + 10}{10}} \right]$$

onde:

Indicador de ruído diurno, L_d – nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, ou na versão atualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos diurnos representativos de um ano.

Indicador de ruído do entardecer, L_e – nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, ou na versão atualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos do entardecer representativos de um ano.

Indicador de ruído noturno, L_n – nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, ou na versão atualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos noturnos representativos de um ano.

2.4 ARTIGO 13º DO RGR

Atividades ruidosas permanentes (Artigo 13.º 1-b)

A diferença máxima entre o valor do nível sonoro contínuo equivalente ponderado A (L_{Aeq}) do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da atividade ou atividades em avaliação e o valor do L_{Aeq} do ruído ambiente a que se exclui aquele ruído ou ruídos particulares, ruído residual, não deverá ultrapassar o valor de 5 dB(A) no período diurno, 4 dB(A) no período do



entardecer e de 3dB(A) no período noturno, consideradas as correções tonais e impulsivas que possam eventualmente existir, bem como a correção associada à duração acumulada de ocorrência do ruído particular.

Os períodos de referência – intervalos de tempo a que se refere um indicador de ruído, de modo a abranger as atividades humanas típicas – para o cálculo dos parâmetros supracitados são delimitados nos seguintes termos:

Período diurno – das 7 às 20 horas;

Período do entardecer – das 20 às 23 horas;

Período noturno – das 23 às 7 horas.

3 MÉTODOS DE CÁLCULO

3.1 ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS

O valor do índice de isolamento a sons de condução aérea, entre o exterior do edifício e os compartimentos interiores em análise ($D_{2m,nT,w}$), ou entre compartimentos interiores ($D_{nT,w}$), é calculado a partir do índice de redução sonora ponderado R'_w , através da seguinte expressão, com base nas normas EN 12354-1 e EN 12354-3:

$$D_{2m,nT,w} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \log \left(\frac{V}{6 \times T_0 \times S} \right) \quad D_{nT,w} = R'_w + 10 \log \left(\frac{0.16 \times V}{T_0 \times S} \right)$$

$D_{2m,nT,w}$ – índice de isolamento a sons de condução aérea entre o exterior do edifício (emissão) e os compartimentos interiores em análise (dB)

$D_{nT,w}$ – índice de isolamento a sons de condução aérea entre compartimentos interiores (dB)

R'_w – índice de redução sonora ponderado, previsto in situ (dB)

V – volume do compartimento recetor (m^3)

S – área do elemento de separação (m^2)

T_0 – tempo de reverberação de referência, igual a 0,5s.

Determinação do índice R'_w – quantificação da transmissão marginal

O índice de redução sonora ponderado previsto in situ, R'_w , é determinado através do índice de redução sonora ponderado medido em laboratório (ou estimado), R_w , ao qual foi contabilizada a influência das transmissões marginais que ocorrem quando o elemento é colocado em obra.

Para a quantificação do índice $D_{2m,nT,w}$, é adotado o valor de 2 dB para a redução do isolamento sonoro devido às transmissões marginais, tal como indicado na EN 12354-3, uma vez que estas não são significativas devido aos baixos valores de isolamento a sons aéreos normalmente existentes. Assim foi subtraído esse valor ao índice R_w obtendo-se o índice R'_w .

$$R'_w = R_w - 2 \quad (\text{dB})$$

Determinação do índice R_w

Dado que a maioria dos elementos de construção utilizados correntemente não se encontra ainda caracterizada laboratorialmente sob o ponto de vista do isolamento a sons de condução aérea, torna-se necessário recorrer a modelos de cálculo que permitam estimar os valores dos descritores acústicos de interesse.

No entanto, sempre que existirem caracterizações laboratoriais para um dado elemento construtivo, esses dados serão considerados e preferidos relativamente aos resultados obtidos através dos modelos de cálculo.

Assim quando um elemento não está caracterizado em laboratório em termos do seu índice de redução sonora ponderado R_w , este é obtido através de métodos de cálculo que permitam estimar os valores do índice de redução sonora R para cada banda de frequência e que se descrevem de seguida.

A partir dos valores de R em cada banda de frequência (125-2000 Hz para bandas de 1/1 oitava e 100-3150 Hz para bandas de 1/3 oitava) é determinado o índice de redução sonora ponderado (R_w) de acordo com a metodologia apresentada na norma NP EN ISO 717-1 "Acústica – Quantificação do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção – Parte 1: Isolamento a sons de condução aérea" (1996).

Em elementos construtivos heterogéneos, como é o caso das fachadas (compostas por zonas opacas e por vãos envidraçados), é necessário homogeneizar os valores do índice de redução sonora ponderado dos vários elementos constituintes, de modo a obter um valor representativo da transmissão sonora que efetivamente ocorre no elemento real, através da expressão seguinte:

$$R_w = 10 \log \left(\frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i \times 10^{-0.1 R_{w,i}}} \right)$$

R_w – índice de redução sonora ponderado médio (dB)

S_i – área do sub-elemento i (m^2)

$R_{w,i}$ – índice de redução sonora do sub-elemento i (dB)

Elementos simples

A metodologia de cálculo preconizada para estimar o valor do índice de redução sonora por banda de frequência de elementos simples (paredes e pavimentos) é a apresentada na publicação “Engineering Noise Control – Theory and Practise” de David Bies e Colin Hansen (2003), sendo esta por sua vez baseada num modelo proposto por Ben Sharp (“A study to increase the sound insulation of building elements” – Wyle Laboratories Report WR73-5), em 1973.

$$f_c = \frac{c^2}{1,8 c_L e} \quad (\text{Hz})$$

f_c – frequência crítica (Hz)

c – velocidade de propagação do som no ar ($c = 343,32 \text{ m/s}$ a 20°C)

c_L – velocidade de propagação do som no material do elemento construtivo (m/s)

e – espessura do elemento construtivo (m)

$$\text{Ponto A: } f = 0,5 f_c \rightarrow R = 20 \log(f_c \times m) - 54 \quad (\text{dB})$$

$$\text{Ponto B: } f = f_c \rightarrow R = 20 \log(f_c \times m) - 54 + 10 \log(\eta) - 45 \quad (\text{dB})$$

f – frequência (Hz)

R – índice de redução sonora para uma dada frequência (dB)

m – massa superficial do elemento construtivo (kg/m^2)

η – fator de amortecimento interno

A aplicação prática desta metodologia é feita determinando a frequência crítica f_c e os valores do índice de redução sonora R correspondentes a f_c e $0,5f_c$. Seguidamente marcam-se os valores de $0,5f_c$ e de f_c numa escala logarítmica (abscissas) e os respetivos valores de R numa escala linear (ordenadas) – pontos A e B. Traça-se uma reta com declive de 6 dB/oit. a partir do ponto A e outra com declive de 9 dB/oit. a partir do ponto B. Para a zona da coincidência ($f > f_c$) considera-se a reta de 6 dB/oit. a partir da intersecção das duas retas traçadas. Por fim lêem-se os valores do índice de redução sonora R para as bandas de frequências normalizadas (de 1/1 oitava ou de 1/3 oitava).

Este modelo é válido para frequências superiores em 1,5 vezes a primeira frequência de ressonância.

$$f_{pq} = k \times e \times c_L \times \left(\frac{p}{a^2} + \frac{q}{b^2} \right) \quad (\text{Hz})$$

f_{pq} – frequências de ressonância (Hz)

k – condições de apoio do elemento

p e q – número de modos de vibração

a e b – dimensões do elemento (m)

Elementos duplos

A metodologia de cálculo preconizada para estimar o valor do índice de redução sonora por banda de frequência de elementos duplos é baseada na publicação “Acústica de los Edifícios” de Mathias Meisser (1973) adaptada por António Tadeu e Diogo Mateus (FCTUC).

A aplicação prática deste método faz-se da seguinte forma:

Determina-se o índice de redução sonora para a frequência de 500 Hz com base na expressão seguinte:

$$R_{500\text{Hz}} = 13,3 \log(m) + 13,4 + D \quad (\text{dB})$$

m – massa superficial dos dois panos, $m = m_1 + m_2$ (kg/m^2)

D – ganho obtido pela colocação de material absorvente sonoro na caixa de ar (dB)

($D = 4$ dB para caixas de ar com dimensões correntes (4-5 cm) preenchidas com material fono-absorvente e para painéis de massas da mesma ordem de grandeza)

A partir da ordenada calculada para a frequência dos 500 Hz, traça-se uma reta com um declive de 6 dB/oit. tendo como referência uma escala logarítmica no eixo das abcissas e uma escala linear no eixo das ordenadas.

Marcam-se no eixo das abcissas (escala logarítmica) os pontos notáveis da “curva” de isolamento (frequência de ressonância massa-ar-massa f_c , frequências críticas dos dois painéis f_{c1} e f_{c2} e frequências de ressonância da caixa de ar f_n) e, tendo como referência a reta auxiliar traçada com um declive de 6 dB/oit., estabelecem-se as quebras no índice de redução sonora de acordo com as seguintes regras (considerando a caixa de ar com material de absorção sonora):

4 dB na frequência de ressonância massa-ar-massa

5 dB nas frequências críticas (9 dB se os panos foram iguais)

1 dB nas frequências de ressonância da caixa de ar.

$$f_r = 84 \times \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{d \times m_1 \times m_2}} \quad (\text{Hz})$$

$$f_n = \frac{n c}{2 d} \quad (\text{Hz}) \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

$$f_{c1} = \frac{c^2}{1,8 c_{L1} e_1} \quad (\text{Hz})$$

$$f_{c2} = \frac{c^2}{1,8 c_{L2} e_2} \quad (\text{Hz})$$

f_r – frequência de ressonância massa-ar-massa (Hz)

m_1 – massa superficial do pano 1 (kg/m²)

m_2 – massa superficial do pano 2 (kg/m²)

d – espessura da caixa de ar (m)

f_n – frequências de ressonância da caixa de ar (Hz)

A partir das quebras definidas procede-se ao traçado de retas com um declive de 10 dB/oit. até à intersecção com a reta auxiliar de 6 dB/oit. traçada inicialmente.

A partir dos pontos de intersecção entre as retas referidas (6 dB/oit. e 10 dB/oit.) procede-se ao traçado de novas retas com o declive de 8 dB/oit..

Traça-se a “curva” final de isolamento, que deve passar pelos pontos notáveis marcados anteriormente, acompanhar as retas com declives de 10 e 8 dB/oit. e estabelecer concordâncias entre os pontos conhecidos.

Lêem-se os valores do índice de redução sonora R para as bandas de frequências normalizadas (de 1/1 oitava ou de 1/3 oitava).

3.2 ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS DE PERCUSSÃO

Nível Sonoro a Sons de Percussão

O modelo de cálculo preconizado é baseado na publicação “Structure-Born Sound” de L.Cremer e M. Heckl e definido no anexo B da EN 12354-2: “Building Acoustics, Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products, Part 2: Impact sound insulation between rooms.”

$$L_n \cong 155 - 30 \log(m) + 10 \log(T_s) + 10 \log(\sigma) + 10 \log\left(\frac{f}{1000}\right) \quad (\text{dB})$$

A determinação dos valores para o fator de radiação σ e para o tempo de reverberação estrutural T_s , é efetuada de acordo com o exposto nos anexos B e C da EN 12354-1.

No entanto, devido à complexidade do cálculo destes dois últimos parâmetros e ao domínio da pertinência relativamente restrito do modelo, entende-se ser suficiente recorrer ao modelo simplificado proposto pela norma (desenvolvida para elementos homogêneos):

$$L_{nT,w} = 164 - 35 \log(m) - 10 \log\left(\frac{0.16V}{A_0 T_0}\right) \quad (dB)$$

Quantificação das Transmissões Marginais para Isolamento Sonoro a Sons de Percussão

Apesar de no caso dos sons de percussão a influência da transmissão marginal no isolamento real conseguido não ser tão determinante como no caso do isolamento aos sons de condução aérea importa, todavia, considerar o seu valor na avaliação do $L'_{nT,w}$ de modo a obtermos resultados mais fidedignos com a realidade. Assim:

$$L'_{nT,w} = L_{nT,w,eq} - \Delta L_w + K \quad (dB)$$

O índice de isolamento sonoro a sons de percussão ($L'_{nT,w}$), onde:

- $L_{nT,w,eq}$ – índice de isolamento sonoro equivalente do pavimento não revestido (dB), de acordo com o anexo B da EN ISO 717-2 (dB)
- ΔL_w – redução do nível de pressão sonora devido à existência de um revestimento (em relação a um pavimento de referência) (dB)
- K – correção devido à existência de transmissões marginais (dB)

A metodologia preconizada baseia-se na EN 12354-2 e consiste na determinação de um coeficiente K (índice de redução de transmissão de vibrações) dependente, basicamente, da relação entre a massa superficial do elemento de separação e a massa superficial média dos elementos marginais não revestidos.

Quadro 1 – Valores do coeficiente k (dB)

Massa Sup. do Pav. (kg/m ²)	Massa Superficial média dos elementos marginais (paredes), homogéneos e não revestidos (kg/m ²)								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
450	4	3	2	2	1	1	1	1	1
500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
600	5	4	3	2	2	1	1	1	1
700	5	4	3	3	2	2	1	1	1
800	6	4	4	3	2	2	2	1	1
900	6	5	4	3	3	2	2	2	2

3.3 TEMPO DE REVERBERAÇÃO

A obtenção de condições de inteligibilidade da palavra e de qualidade e conforto auditivos é condicionada por diversos aspetos dos quais é possível destacar como determinante o controlo do tempo de reverberação. Este parâmetro é, então, a grandeza que permite avaliar da forma mais cómoda, dado a simplicidade com que pode ser calculado (entenda-se estimado), a qualidade acústica de um dado espaço, isto é, a maior ou menor adequação desse espaço à finalidade para que foi concebido.

A determinação do tempo de reverberação para um determinado local será efetuada segundo os modelos estatísticos propostos por Sabine e Eyring:

$$T_r = \frac{0.16 V}{\sum \alpha_i S_i}$$

$$T_r = \frac{0.16 V}{-S \ln(1 - \alpha_m)}$$

α_i – coeficiente de absorção sonora

S_i – área de um dado elemento construtivo (m²)

V – volume do local (m³)

α_m – coeficiente de absorção sonora médio ()

3.4 NÍVEL DE AVALIAÇÃO

O nível de avaliação é determinado através do nível sonoro contínuo equivalente do ruído particular dos equipamentos do edifício, no local de receção, corrigido de acordo com as características tonais ou impulsivas do ruído particular.

$$L_{Ar,nT} = L_{eq} + K$$

L_{AR} – nível de avaliação do ruído particular de equipamentos do edifício no local recetor, em dB(A)

L_{eq} – nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular, em dB(A)

K – correção tonal ($K = 3$ dB (A) se forem detetadas componentes tonais no ruído particular, senão $K = 0$)

O valor L_{eq} é estimado através do nível de potência sonora dos equipamentos corrigido da atenuação relativa à influência do campo direto (atenuação geométrica devida à distância do recetor às fontes de ruído) e do campo reverberado (influência das características de absorção sonora do compartimento emissor).

Quando o equipamento não se localiza no compartimento recetor é ainda subtraído o valor do índice de isolamento a sons aéreos entre os dois espaços ($D_{nT,w}$ ou $D_{2m,nT,w}$).

$$L_{eq} = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) - D_{n,w}$$

L_{eq} – nível sonoro no local de receção, em dB(A);

L_w – nível de potência sonora do equipamento, em dB(A);

Q – coeficiente de direccionalidade;

r – distância à fonte sonora, em m;

R – constante acústica do compartimento emissor, em m^2 ;

$$R = \frac{A}{1 - \alpha_m} \quad A = \sum_i \alpha_i S_i \quad \alpha_m = \frac{\sum_i \alpha_i S_i}{\sum_i S_i}$$

$D_{nT,w}$ – índice de isolamento sonoro a sons aéreos interiores entre os espaços de avaliação

em dB – admitindo o elemento de compartimentação como homogéneo;

em dBA – para elementos aligeirados (R_{tr} calculado aplicando o termo de adaptação C_{tr})

3.5 EMISSÃO SONORA

O campo sonoro no exterior pode ser simulado a partir da caracterização da potência sonora das fontes sonoras existentes usando a metodologia que seguidamente se explicita (de acordo com a NP 4361-2 de 2001). O campo de aplicação desta metodologia circunscreve-se à maior parte das situações referentes a tráfego rodoviário ou ferroviário, às fontes de ruído industriais, às atividades de construção e a numerosas outras fontes situadas no solo.

A atenuação do som ocorre durante a propagação da fonte sonora ao recetor depende de vários mecanismos, dos quais foram considerados os seguintes:

A_{div} – atenuação devida à divergência geométrica

A_{atm} – atenuação devida à absorção atmosférica

A_{gr} – atenuação por efeito do solo;

A_{bar} – atenuação por efeito de barreira;

A_{misc} – atenuação devida a diversos efeitos – vegetação, áreas industriais e áreas habitacionais;

O nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, com vento favorável (propagação sonora em arco descendente com o vento da fonte para o recetor), $L_{Aeq,T}$, é calculado da seguinte forma:

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left\{ \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^8 10^{0,1(L_{FT(ij)} + A_{f(j)})} \right) \right\}$$

L_{FT} – nível sonoro contínuo equivalente, por bandas de oitava, com vento favorável, no local recetor (dB)

n – número de contribuições i (fontes e percursos)

j – índice que indica as oito bandas de oitava normalizadas com frequências nominais entre os 63 Hz e os 8 kHz;

A_f – indica a ponderação A normalizada (de acordo com NP 3496)

O valor de L_{FT} é obtido recorrendo a:

$$L_{FT} \cong L_w + D_c - A$$

L_w – nível de potência sonora (bandas de oitava) produzido pela fonte sonora pontual (dB)

D_c – correcção da directividade

A – atenuação por banda de oitava, que ocorre durante a propagação da fonte sonora

$$= A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$$

Os parâmetros L_d , L_e e L_n são calculados conforme descrito no ponto anterior subtraindo a atenuação sonora existente.

O parâmetro L_{den} é calculado pela seguinte fórmula, presente no DL 9/2007:

$$L_{den} = 10 \times \log \frac{1}{24} \left[13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right]$$

4 SITUAÇÃO ATUAL

De acordo com os Mapas de Ruído Gerais disponibilizados pela Câmara Municipal de Lisboa (Fonte: CML/DMAEVCE/DAEAC/DAE) datados de Dezembro de 2019 e cujos extratos se apresentam nas Figuras 1 e 2, a zona de implantação da Estação do Campo Grande encontra-se numa zona de sobre-exposição de ruído com valores para o indicador L_{den} superior a 70dbA e a L_n superior a 60dBa.

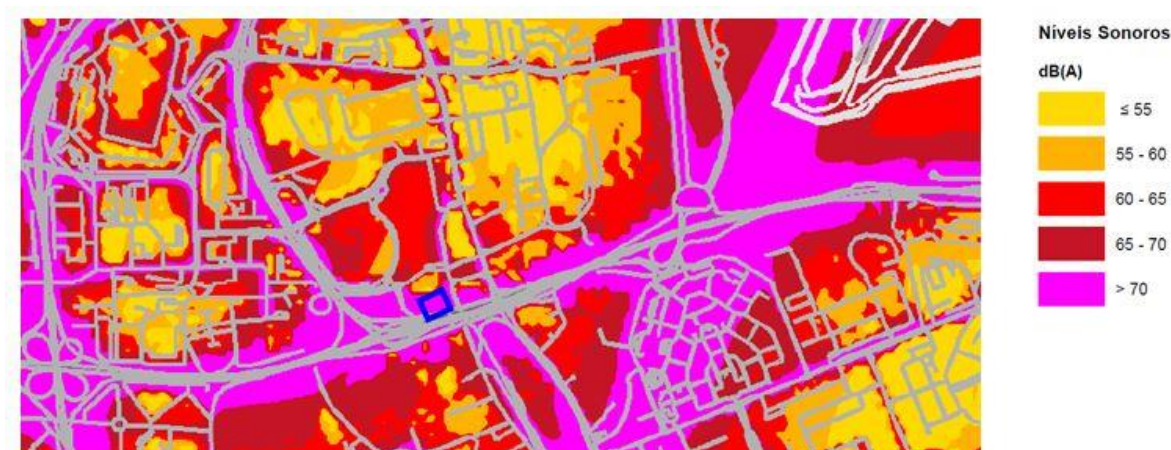


Figura 1 - Extrato do Mapa de Ruído Global - Indicador de Ruído Dia, Entardecer e Noite (LDEN) 2014, Fonte: CML/DMAEVCE/DAEAC/DAE, Dezembro 2019

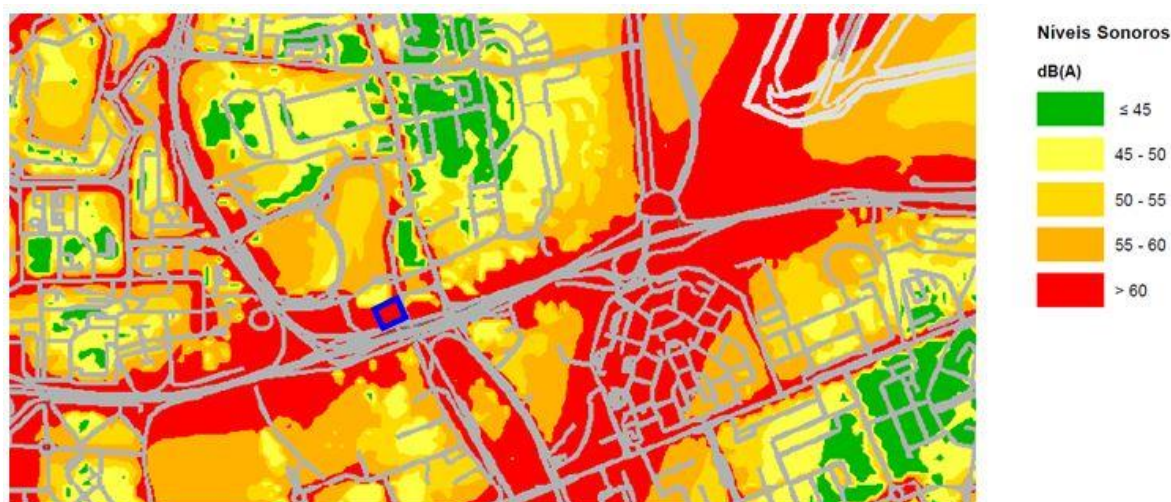


Figura 2 - Extrato do Mapa de Ruído Global - Indicador de Ruído Noturno (LN) 2014, Fonte: CML/DMAEVCE/DAEAC/DAE, Dezembro 2019

5 DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO DAS DISPOSIÇÕES REGULAMENTARES

5.1 ISOLAMENTO SONORO A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA EXTERIORES

A nível regulamentar exige-se a verificação do isolamento a sons de condução aérea entre o exterior e os escritórios/espacos que requeiram concentração e silêncio ou espacos públicos de restauração.

Neste caso em concreto os espacos que integram esta categoria serão o espaco 5.01 Sala de Repouso dos Maquinistas e o espaco 5.02 Sala do Encarregado de Tração.

A verificação foi efetuada individualmente para as fachadas mais desfavoráveis, onde a situação potencialmente mais gravosa corresponderá à que apresenta uma maior área, nomeadamente de envidraçados (elemento com menor valor do índice de redução sonora R_w).

O cálculo do isolamento conferido pelas fachadas relativamente aos sons provenientes do exterior dependerá do isolamento sonoro proporcionado pelas zonas opaca e pelos vãos envidraçados.

Atendendo a que a maioria dos elementos construtivos utilizados na construção corrente não se encontra ainda caracterizada laboratorialmente sob o ponto de vista de isolamento sonoro a sons de condução aérea, torna-se necessário recorrer a modelos de cálculo que permitam estimar os valores dos descritores acústicos de interesse. Contudo, sempre que as referidas caracterizações laboratoriais estiverem disponíveis para um dado elemento construtivo, essa informação foi obviamente tomada em consideração e inclusive preferida relativamente aos resultados decorrentes da utilização dos modelos de cálculo.

O índice de redução sonora ponderado, R_w dos envidraçados foi calculado, de acordo com a norma europeia EN 12354-3 e/ou de acordo com especificação técnica respetiva. Também de acordo com esta norma, o isolamento das caixilharias, pela complexidade associada ao seu cálculo, não é contabilizado, respeitando a imposição de considerar a área destas como área de envidraçados.

A constituição das fachadas do edifício e a caracterização acústica dos seus elementos é apresentada no Quadro 2. Poderão ser utilizados outros envidraçados, desde que o valor de R_w do material, seja igual ou superior ao apresentado.

Quadro 2 – Caracterização dos elementos que compõem as fachadas do edifício

Designação	Constituição	R_w (dB)
PE1	Parede simples constituída por: Painéis metálicos numa liga de alumínio e cobre (gold); Bloco de betão vazado – 10cm; Reboco interior – 2cm	42 (-1;-5)
VE1	Vidro duplo com constituição 6(12)10	37 (-1;-4)

O cálculo do índice $D_{2m,nT,w}$ foi considerado para a fachada mais crítica, ou seja, com maior área de envidraçados. Uma vez que o espaço 5.01 não apresenta vãos envidraçados, este critério será verificado para o espaço 5.02.

Pelo resultado obtido constata-se que se encontra verificada a exigência estabelecida a nível regulamentar relativamente ao isolamento sonoro a sons de condução aérea provenientes do exterior, com valor do índice $D_{2m,nT,w}$ igual a 39dB, superior ao limite regulamentar para o caso de 30dB.

5.2 ISOLAMENTO SONORO SONS DE PERCUSSÃO

O índice de isolamento a sons de percussão, $L_{nT,w}$, no interior de escritórios ou recintos com vocação similar deverá ser inferior a 60dB.

No edifício em estudo os únicos espaços que se enquadram nesta categoria são os espaço citados no capítulo 5.1. Uma vez que se localizam ambos no último piso do edifício, sem outros locais interiores sobre eles, não há lugar à aplicação deste critério regulamentar específico. A cobertura apenas será acessível para efeitos de manutenção dos equipamentos que nela se localizam e para manutenção/limpeza sazonal.

5.3 TEMPO DE REVERBERAÇÃO

5.3.1 Artigo 6º do RRAE

No interior dos escritórios (ou locais com vocação similar) com volume superior a 100m³ deverão existir superfícies dotadas de materiais absorventes sonoros de forma a controlar o tempo de reverberação no interior dos espaços.

No edifício em estudo, o único espaço que se enquadra nesta categoria é o espaço 5.01 Sala de Repouso dos Maquinistas, com um volume igual a 111,9m³.

De acordo com o projeto de Arquitetura, os revestimentos a adotar neste espaço são os apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Revestimento adotados para controlo do tempo de reverberação (sala de repouso dos maquinistas)

Elemento	Constituição
Pavimento	Revestimento vinílico
Paredes	Acabamento estanhado pintado
Teto	Reboco a base de cortiça fono-absorvente

O Quadro 4 apresenta os coeficientes de absorção por banda de frequência de oitava para os revestimentos previstos para o espaço designado, bem como o seu coeficiente de absorção sonora ponderado, α_w . Outros materiais poderão ser utilizados como revestimento de superfícies desde que o seu valor de α_w seja igual ou superior, ao do material especificado.

Quadro 4 – Coeficientes de absorção sonora dos materiais de revestimento (sala de repouso dos maquinistas)

Material	Descrição	Frequência (Hz)						α_w
		125	250	500	1000	2000	4000	
Pavimento	Revestimento vinílico	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,03
Paredes	Acabamento estanhado pintado	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,02
Teto	Reboco a base de cortiça fono-absorvente*	0,10	0,35	0,65	0,75	0,70	0,70	0,65
Envidraçado	-	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03
Portas	-	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

*foi considerado o reboco fono-absorvente tipo DIATHONITE ACOUSTIX

Com a aplicação dos revestimentos indicados, o tempo de reverberação esperado para o espaço em questão é de 0,59s, inferior ao seu limite máximo de 0,72s.

5.3.2 Artigo 10º do RRAE

De acordo com o estipulado regulamentar, no interior dos átrios ou salas de embarque das estações de transporte de passageiros com volume superior a 350m², deverão existir superfícies dotadas de materiais absorventes sonoros de forma a controlar o tempo de reverberação no interior dos espaços.

Embora apenas se prolongue em cerca de 16,5m o cais nascente mantendo-se a restante área do cais inalterada, o cálculo de tempo de reverberação será feito para a totalidade deste espaço incluindo o novo aumento.

Os revestimentos a adotar neste espaço são os apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Revestimento adotados para controlo do tempo de reverberação (Cais)

Elemento	Constituição
Pavimento	Pedra de granito
Paredes	Pedra de granito
	Painéis em policarbonato/acrílico
Teto	Painéis de metal perfurado por furos redondos de 5mm com 8mm de afastamento entre os seus centros tendo cerca de 35% de área aberta

O Quadro 6 apresenta os coeficientes de absorção por banda de frequência de oitava para os revestimentos previstos para o espaço designado, bem como o seu coeficiente de absorção sonora ponderado, α_w . Outros materiais poderão ser utilizados como revestimento de superfícies desde que o seu valor de α_w seja igual ou superior, ao do material especificado.

Quadro 6 – Coeficientes de absorção sonora dos materiais de revestimento (cais)

Material	Descrição	Frequência (Hz)						α_w
		125	250	500	1000	2000	4000	
Pavimento	Pedra de granito	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05	0,05	0,02
Paredes	Pedra de granito	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05	0,05	0,02
Paredes	Painéis em policarbonato/acrílico	0,20	0,08	0,05	0,03	0,02	0,02	0,04
Teto	Painéis metálicos perfurados*	0,06	0,11	0,46	0,77	0,84	0,89	0,70
Espaço aberto	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

*foi considerado painel metálico perfurado tipo IMPORTINOX R5 T8

Com a aplicação dos revestimentos indicados, o tempo de reverberação esperado para o espaço em questão é de 1,21s, inferior ao seu limite máximo de 4,29s. (as áreas das superfícies utilizadas nos cálculos são áreas aproximadas, mas dada a diferença observada entre o valor de cálculo e o valor limite máximo esta aproximação não terá efeitos na validação ou não validação deste critério).

5.4 NÍVEL DE AVALIAÇÃO DO RÚIDO PARTICULAR DE EQUIPAMENTOS

O nível de avaliação do ruído particular de equipamentos, $L_{A,r,nT}$, nos locais situados no interior do edifício onde se exerçam atividades que requeiram concentração e sossego, como é o caso dos espaços 5.01 e 5.02 acima identificados, é limitado legalmente pelas condições referidas anteriormente.

Os equipamentos a instalar no edifício derivados desta alteração e que possam causar incomodidade aos utentes do mesmo são os listados no Quadro 7, onde se apresenta também o seu nível de potência sonora, L_w .

Quadro 7 – Caracterização dos equipamentos ruidosos a instalar no edifício

Designação	Modelo	Localização	L_w^* (dBA)
UE1	Daikin RXZ-N 25	Cobertura	59
UE2	Daikin RXZ-N 35	Cobertura	61
VE1	France Air Canal Fast 160	Cobertura	33

*dados do fornecedor

O nível de potência sonora total produzido por estes equipamentos quando em funcionamento simultâneo na sua máxima potência é de, $L_w=63,1\text{dBA}$.

Considerando o índice de isolamento sonoro a sons aéreos exteriores conferido pela cobertura do edifício, cuja composição é apresentada no Quadro 8, igual a 51 dBA, o nível sonoro sentido no interior dos espaços supracitados, no caso do funcionamento simultâneo de todos os equipamentos na sua máxima potência, será de $12,1\text{ dBA} \leq 37\text{ dBA}$.

Quadro 8 – Caracterização dos elementos que compõem a cobertura do edifício

Designação	Constituição	R_w (dB)
C1	Reboco – 2cm Laje maciça em betão armado – 30cm Camada de forma – variável (min. 5cm) Isolamentos, impermeabilizações e proteção mecânica.	58 (-1;-7)

5.5 EMISSÃO SONORA E INCOMODIDADE

5.5.1 Valores limite de exposição (Artigo 11.º 1-a e 1-c)

A emissão sonora pode ser gerada quer pelas atividades potencialmente ruidosas do interior do edifício quer pelo funcionamento dos equipamentos mecânicos instalados.

Considerando o tipo de utilização predominante prevista para o edifício em si, que gerará tipicamente níveis de ruído moderados no seu interior, considera-se que apenas os equipamentos eletromecânicos previstos para instalação no exterior do edifício e a passagem do metro poderão provocar algum incómodo nos recetores sensíveis mais próximos.

Conforme referido no capítulo 5.4, o nível de potência sonora total, L_w , dos equipamentos eletromecânicos a instalar, quando em funcionamento simultâneo na sua máxima potência, é de 63,1dBA.

A 30m de distância (recetor sensível mais próximo conforme Figura 3), o nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , provocado pelos equipamentos instalados na cobertura do edifício é de 33,6dBA, resultando em valores dos índices L_n e L_{den} de 33,6 e 39,9dBA, respetivamente (considerando o funcionamento noturno dos equipamentos – situação mais desfavorável).

Dados os níveis L_n e L_{den} atuais apresentados nas Figuras 1 e 2 do capítulo 3, o funcionamento destes equipamentos – mesmo considerando o funcionamento noturno e o funcionamento simultâneo e na sua máxima potência, não alterarão os índices L_n e L_{den} verificados atualmente na



zona de implantação da estação, que se situam acima dos 60 e dos 70dBA, respetivamente, verificando inclusive os critérios regulamentares estabelecidos no Artigo 11.º do RGR.

O prolongamento do cais nascente da ECG não irá alterar a distância de passagem do metro do ponto sensível mais próximo, conforme Figura 3, sendo o prolongamento do cais feito para zona de linha já existente. Pelo que se entende que os níveis de ruído com a expansão do cais serão muito próximos ou até iguais aos níveis de ruído atuais.

O recetor sensível dista cerca de 30m, em linha horizontal, do recetor sensível mais próximo (conforme Figura 3). Uma vez que no estudo de impacte ambiental não foram realizados ensaios de ruído neste recetor – pelos motivos supracitados, considerou-se uma extrapolação dos valores previstos nesse mesmo estudo.

A passagem do metro resulta, conforme medido no Estudo de Ruído levado a cabo no Anteprojeto da *Empreitada de Projeto e Construção dos Toscos, Acabamentos e Sistemas, no Âmbito da Concretização do Plano de Expansão do Metropolitano de Lisboa - Prolongamento das Linhas Amarela e Verde - Viadutos do Campo Grande - Lote 3*, nos seguintes valores para os índices de L_{den} e L_n nos dois pontos de medição considerados:

- Ponto P1 (cerca de 14m da fonte): $L_{den} = 64$ dBA e $L_n = 59$ dBA
- Ponto P2 (cerca de 20m da fonte): $L_{den} = 59$ dBA e $L_n = 52$ dBA

Estes níveis serão menores num recetor a 30m de distância devido ao efeito, principalmente, da atenuação por divergência geométrica. Dados os níveis L_n e L_{den} atuais apresentados nas Figuras 1 e 2 do capítulo 3, o funcionamento destes equipamentos – mesmo considerando o funcionamento noturno e o funcionamento simultâneo e na sua máxima potência, não alterarão os índices L_n e L_{den} verificados atualmente na zona de implantação da estação, que se situam acima dos 60 e dos 70dBA, respetivamente, verificando inclusive os critérios regulamentares estabelecidos no Artigo 11.º do RGR.

Face ao ruído do metro o ruído do funcionamento dos equipamentos é desprezível (a soma dos dois níveis sonoros é igual ao nível sonoro isolado verificado durante a passagem do metro).

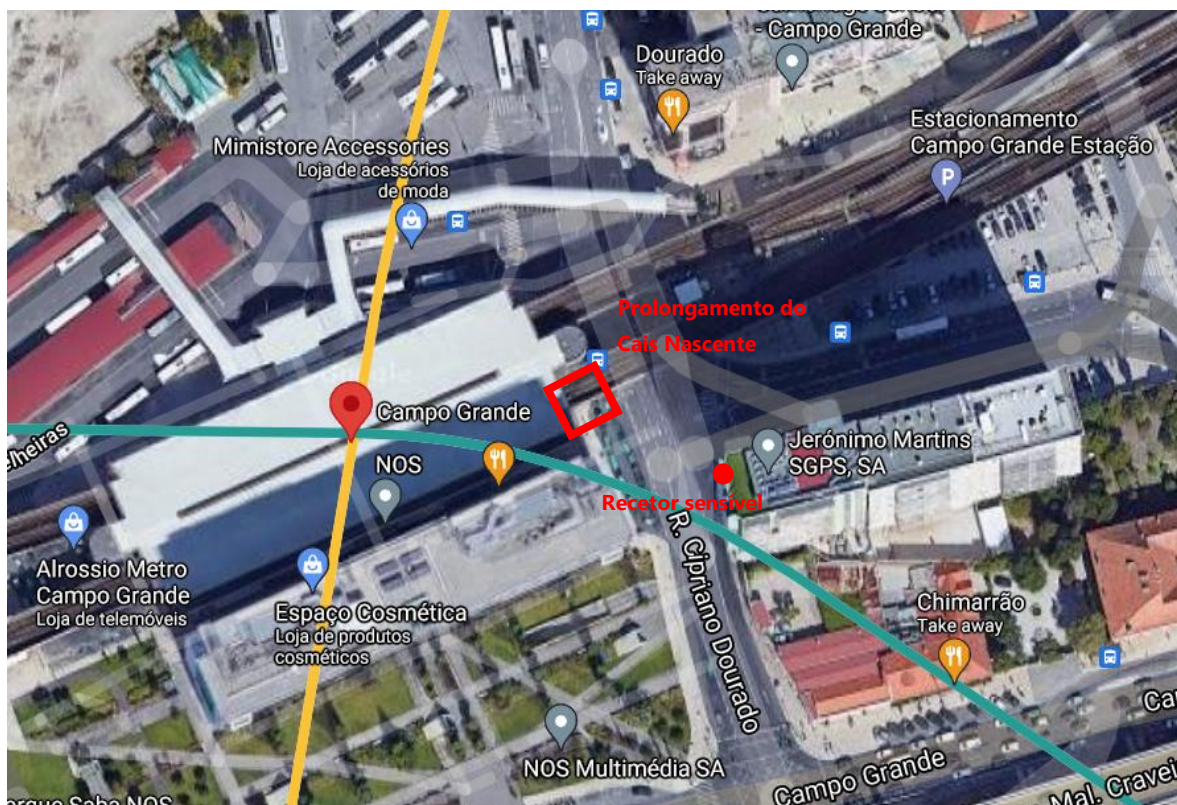


Figura 3 – Localização do aumento do Cais Nascente e localização do ponto sensível mais próximo, Fonte: Google Maps, Maio 2021

5.5.2 Atividades ruidosas permanentes (Artigo 13.º 1-b)

Conforme especificado no ponto anterior, passagem do metro resulta, conforme medido no Estudo de Ruído levado a cabo no Anteprojeto da *Empreitada de Projeto e Construção dos Toscos, Acabamentos e Sistemas, no Âmbito da Concretização do Plano de Expansão do Metropolitano de Lisboa - Prolongamento das Linhas Amarela e Verde - Viadutos do Campo Grande - Lote 3*, um valor para os índices de L_{den} e L_n inferior a:

- Ponto P2 (cerca de 20m da fonte): $L_{den} = 59$ dBA e $L_n = 52$ dBA

Considerando um nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , de conforto no interior dos quartos e zonas de estar das habitações de 35dBA para o período diurno, 30dBA para o entardecer e 25dBA para o período noturno e um índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea exterior, $D_{2m,nT,w}$ para as fachadas das habitações igual ao limite mínimo regulamentar em vigor de 33dB \approx 28dBA (situação mais desfavorável), a diferença entre o valor do indicador L_{Aeq} do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da atividade em avaliação e o valor do indicador L_{Aeq} do ruído residual para cada um dos períodos regulamentares será o apresentado no Quadro 9.

Quadro 9 – Verificação do Artigo 13º do RRAE

Período	L _{Aeq} Atividade (dBA)	D _{2m,nt,w} (dBA)	L _{Aeq} (dBA)	L _{Aeq} Residual (dBA)	Diferença
Diurno*	54,0	28	26,0	35	3,0 (≤5)
Entardecer*	53,0	28	27,6	30	3,6 (≤4)
Noturno	52,0	28	28,0	25	3,0 (≤3)

*Decompondo o L_{den} segundo a fórmula indicada em 3.5

5.5.3 Barreiras Acústicas

Embora fora do foro regulamentar, entende-se que o nível de ruído no cais deverá ser minimizado tanto quanto possível em benefícios dos passageiros que se encontram a aguardar na plataforma.

Dados os valores medidos e referidos acima, estima-se que o nível de potência sonora, L_w, do metro em funcionamento seja próximo dos 75dBA, podendo este valor ser agravado em zona de travagem/arranque do metro nas frequências mais elevadas.

A aplicação de barreiras acústicas em todo o comprimento do aumento da plataforma previsto, ao nível dos carris, como já sucede no troço atualmente existente, vai permitir reduzir em 10 dBA o nível sonoro sentido no cais. Estas só necessitam de ser eficazes para o ruído mais significativo dos veículos ferroviários – contacto roda/carril. Desta forma, a barreira necessita unicamente de ter uma pequena altura e ser colocada perto dos carris (Figura 5).

Para evitar que o ruído seja refletivo da barreira para o metro e deste para os passageiros (por cima da barreira) é aconselhável que a barreira seja acusticamente absorvente na sua face interior. Neste caso sugere-se que seja aplicada uma camada de reboco fono-absorvente uma vez que esse material já será utilizado na empreitada e apresenta bom desempenho nas gama de frequências mais elevadas.

Em alternativa e aproveitando a configuração geométrica do cais, poder-se-á revestir a superfície inferior da plataforma neste material, conforme Figura 6.

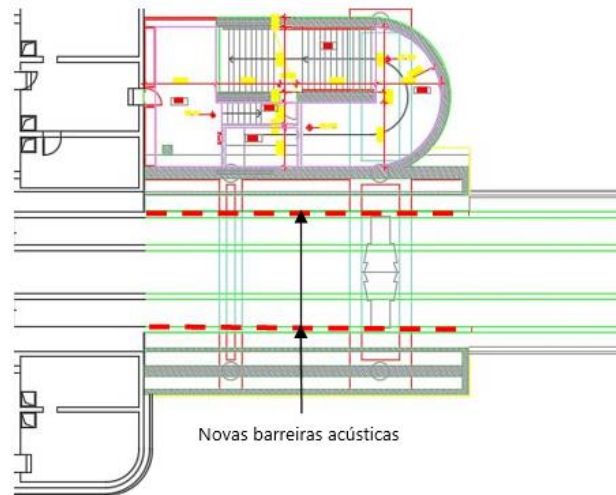


Figura 4 – Implementação de barreiras acústicas – Planta

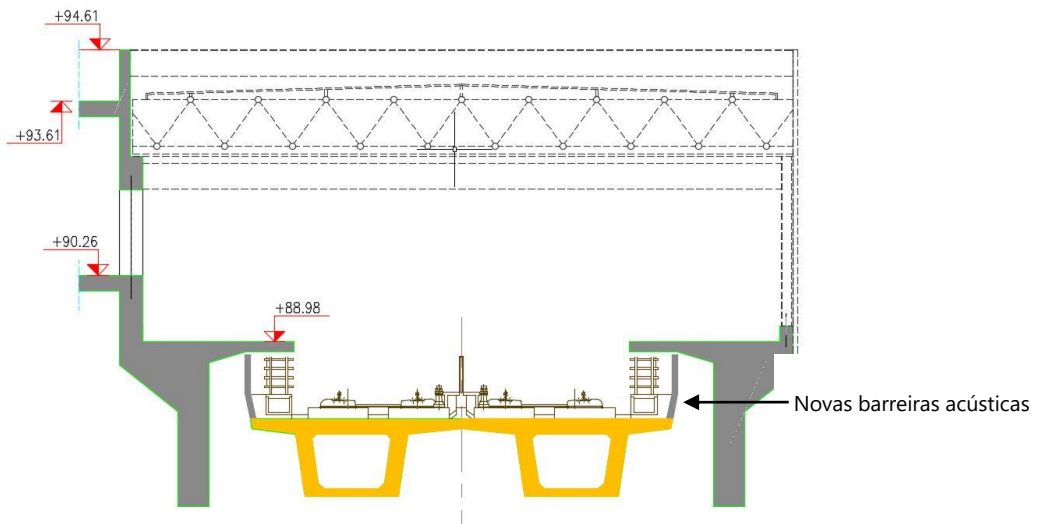


Figura 5 – Implementação de barreiras acústicas – Corte

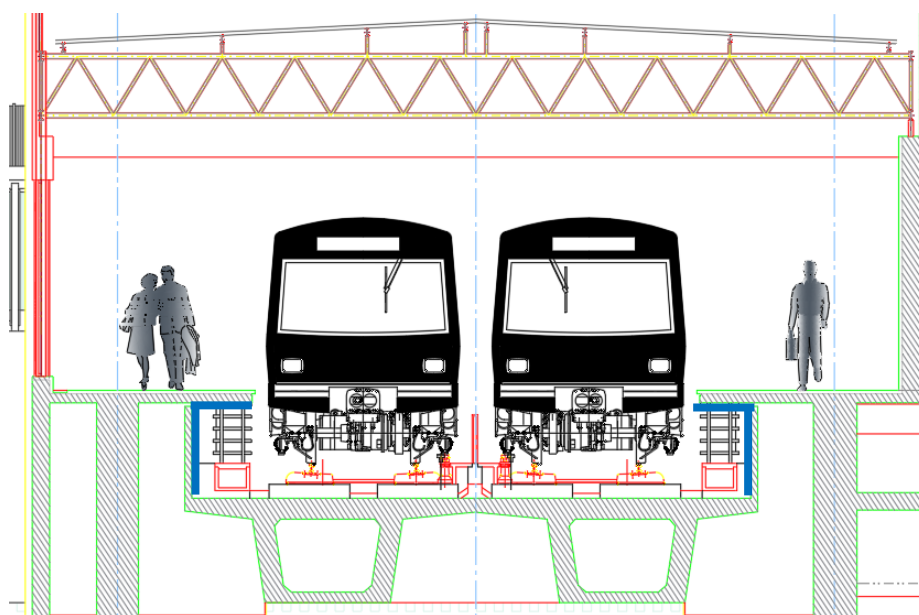


Figura 6 – Aplicação de material absorvente sonoro (a azul) – Corte

6 CONCLUSÃO

Pelo constatado nos capítulos anteriores, as alterações a executar no prolongamento a nascente da ECG no âmbito da Concretização do Plano de Expansão do Metropolitano de Lisboa - Prolongamento das Linhas Amarela e Verde-Viadutos do Campo-Lote 3 não introduzirão um aumento dos indicadores L_{den} e L_n da zona envolvente, a qual já se encontra em situação de sobre-exposição em ambos os indicadores.

Em relação a esta situação de sobre-exposição o RGR remete para as autarquias a responsabilidade da elaboração e implementação de planos de redução do ruído, conforme Artigo 8º e Artigo 9º deste diploma, do qual se transcreve abaixo o ponto 1 do Artigo 8º.

1—As zonas sensíveis ou mistas com ocupação expostas a ruído ambiente exterior que exceda os valores limite fixados no artigo 11º devem ser objecto de planos municipais de redução de ruído, cuja elaboração é da responsabilidade das câmaras municipais.

ANEXO DE CÁLCULO

Cálculo do índice de redução sonora, R_w , da PE1.

DADOS:

Material	e (m)	ρ (kg/m ³)	m (kg/m ²)
Bloco de betão	0,1	1630	163
Reboco	0,02	1227	24,54
	0,12		188

m (kg/m ²)	e (m)	c_L (m/s)	η	c (m/s)	a (m)	b(m)
188	0,12	3500	0,01	340	6,1	3,0

VALIDADE:

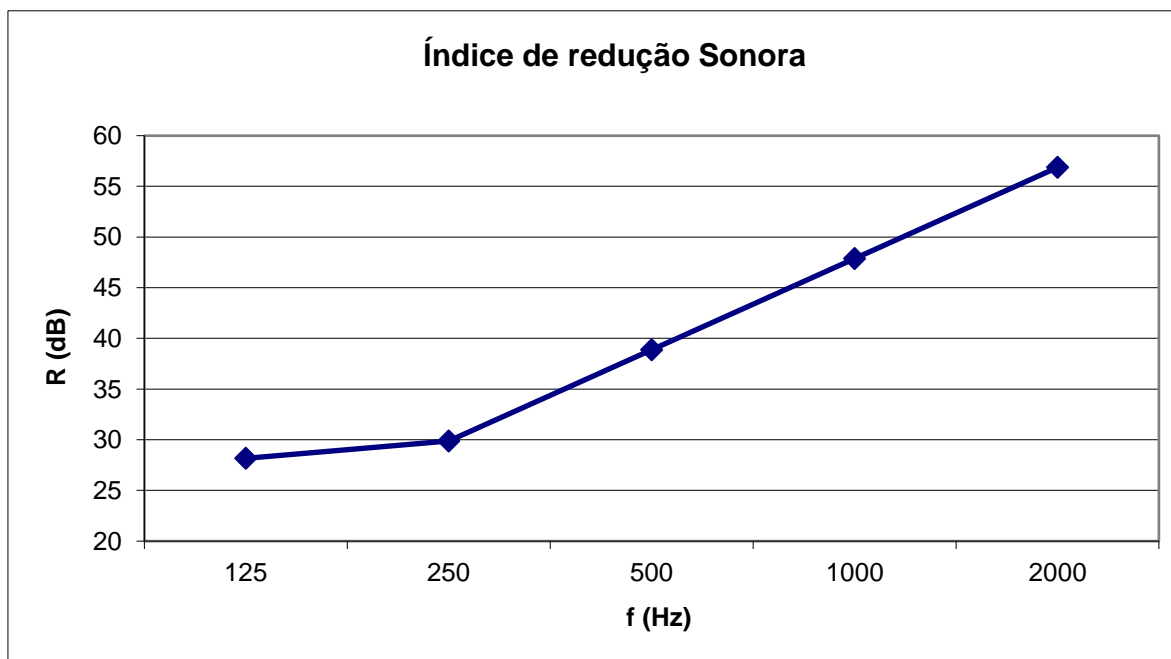
$f_{1,1}$ (Hz)	$1.5 f_{1,1}$ (Hz)	$1.5 f_{1,1} < 125$ Hz ?
37	56	OK

FREQUÊNCIA CRÍTICA E ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA (NOS PONTOS A E B):

	Ponto A	Ponto B
f (Hz)	$0.5 f_c$	f_c
	76	153
R (dB)	35,2	24,2

ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA PARA AS FREQUÊNCIAS NORMALIZADAS:

f (Hz)	125	250	500	1000	2000
R (dB)	28,2	29,9	38,9	47,9	56,9



Frequência (Hz)	125	250	500	1k	2k	$\Sigma \Delta i / 5 =$ 2	
R_{médio total} (dB)	28,2	29,9	38,9	47,9	56,9		
ΔCR	0	9	16	19	20		
CR1	25	34	41	44	45		
$\Delta 1 (=CR1 - R)$	0,0	4,1	2,1	0,0	0,0	1,3	OK
CR2	26	35	42	45	46		
$\Delta 2 (=CR2 - R)$	0,0	5,1	3,1	0,0	0,0	1,7	OK
CR3	27	36	43	46	47		
$\Delta 3 (=CR3 - R)$	0,0	6,1	4,1	0,0	0,0	2,1	KO

R_w (dB)	42
---------------------------	----

TERMO DE ADAPTAÇÃO AO ESPECTRO DE RUÍDO ROSA, C

1/1 OITAVA

Frequência (Hz)	125	250	500	1k	2k
R (dB)	28,2	29,9	38,9	47,9	56,9
L _{ij,c} (dB)	-21	-14	-8	-5	-4
10 ^{(L_{ij}-R)/10} (dB)	1,2E-05	4,1E-05	2,1E-05	5,2E-06	8,2E-07
X _{Aji} (dB)	41				
R _w (dB)	42				
C (dB)	-1				

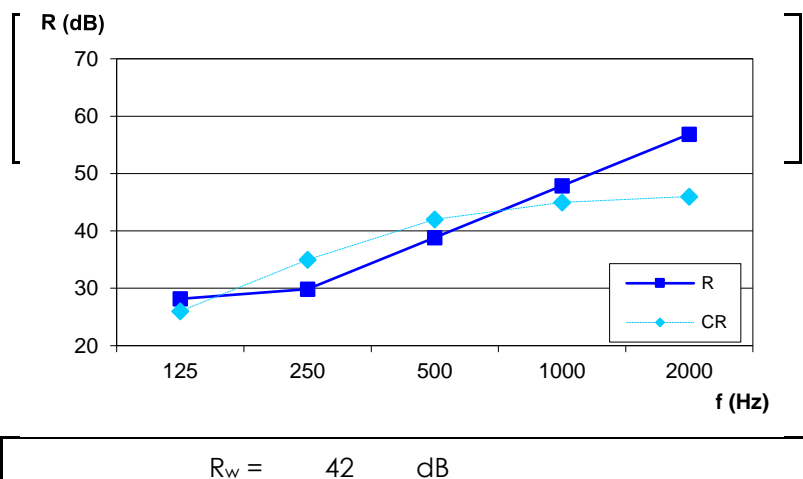
TERMO DE ADAPTAÇÃO AO ESPECTRO DE RUÍDO TRÁFEGO RODOVIÁRIO URBANO, C_{tr}

1/1 OITAVA

Frequência (Hz)	125	250	500	1k	2k
R (dB)	28,2	29,9	38,9	47,9	56,9
$L_{ij,c}$ (dB)	-14	-10	-7	-4	-6
$10^{(L_{ij}-R)/10}$ (dB)	6,1E-05	1,0E-04	2,6E-05	6,5E-06	5,2E-07
X_{Aji} (dB)	37				
R_w (dB)	42				
C_{tr} (dB)	-5				

$R_w(C;C_{tr})$ (dB)	42	-1	-5
----------------------	----	----	----

$m =$	188 kg/m ²	$\eta_{int} =$	0,01		
$e =$	0,12 m	$c_L =$	3500 m/s		
		$f_c =$	153 Hz		
f (Hz)	125	250	500	1000	2000
R (dB)	28,2	29,9	38,9	47,9	56,9



f (Hz)	125	250	500	1000	2000
CR (dB)	26,0	35,0	42,0	45,0	46,0

Cálculo do índice de isolamento a sons aéreos exteriores $D_{2m,nT,w}$ da fachada PE1

Determinação do Índice de Isolamento a Sons de Condução Aérea $D_{2m,n,w}$ da Fachada (PE1)								
Situação em Análise	Entre o exterior e Sala do Encarregado de Tração							
Tipologia do Edifício (RRAE - DL 96/2008)	Edifícios Comerciais e de Serviços e partes similares em Edifícios Industriais							
Local do Edifício	Escritórios							
Área do Espaço Receptor (m^2)	19,91							
Pé Direito do Espaço Receptor (m)	3							
Comprimento do elemento de separação (m)	6,15							
Área do elemento de separação, S (m^2)	18,45							
Elemento Considerado	Zona Opaca		Envidraçado		Ventilação		Cx. de Estore	
	R_w (dB)	C	R_w (dB)	C	R_w (dB)	C	R_w (dB)	C
R_w ou $D_{n,e,w}$ (dB)	42		37					
Área, S_i (m^2)	14,05		4,40		$D_{n,e,w}$		$D_{n,e,w}$	
τ_i	4,8049E-05		4,7583E-05		-		-	
$R_{w,médio}$ (dB)	40							
$10 \log(V/6T_0S)$ (dB)	0,33							
Transmissão Marginal (dB)	-2							
ΔL_{fs}	0							
$D_{2m,nT,w}$ (dB)	39							
$D_{2m,nT,w \min}$ (dB)	30							

Cálculo do tempo de reverberação, T_r

LOCAL 1: 5.01 Sala de descanso dos Maquinistas

Elemento	S (m ²)	$A_i = \alpha_i \times S_i$					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
Teto	37,32	3,73	13,06	24,26	27,99	26,12	26,12
Pavimento	37,32	0,75	1,12	1,49	1,87	1,87	2,24
Parede	73,28	2,20	2,20	1,47	2,20	2,93	3,66
Envidraçado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Portas	4,00	0,56	0,40	0,32	0,32	0,32	0,32
V (m³) :	$\sum A_i$ (m ²)	7,24	16,78	27,54	32,37	31,24	32,35
111,96	TR (s)	2,48	1,07	0,65	0,55	0,57	0,55

	T_{500Hz-2kHz} (s)	≈	0,59	OK		
	T_{500Hz-2kHz MÁX} (s)	≈	0,72			

LOCAL 2: Cais

Elemento	S (m ²)	$A_i = \alpha_i \times S_i$					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
Teto	4250,00	255,00	467,50	1955,00	3272,50	3570,00	3782,50
Pavimento	4250,00	85,00	85,00	85,00	212,50	212,50	212,50
Paredes GR	290,00	5,80	5,80	5,80	14,50	14,50	14,50
Paredes PC	1172,42	234,48	93,79	58,62	35,17	23,45	23,45
Vazio	132,58	132,58	132,58	132,58	132,58	132,58	132,58
V (m³) :	$\sum A_i$ (m ²)	712,86	784,67	2237,00	3667,25	3953,03	4165,53
23375,00	TR (s)	5,25	4,77	1,67	1,02	0,95	0,90

	T_{500Hz-2kHz} (s)	≈	1,21	OK		
	T_{500Hz-2kHz MÁX} (s)	≈	4,29			

Soma de níveis de potência sonora

Nº	Designação	Lw (dB)
1	UE1	59
2	UE2	61
3	UE3	33
Total		63,1

Cálculo do índice de redução sonora, R_w , da C1

DADOS:

Material	e (m)	ρ (kg/m ³)	m (kg/m ²)
Betão	0,3	2550	765
Reboco/betonilha	0,07	1227	85,89
	0,37		851

m (kg/m ²)	e (m)	c_L (m/s)	η	c (m/s)	a (m)	b(m)
851	0,37	3500	0,01	340	6,0	5,0

VALIDADE:

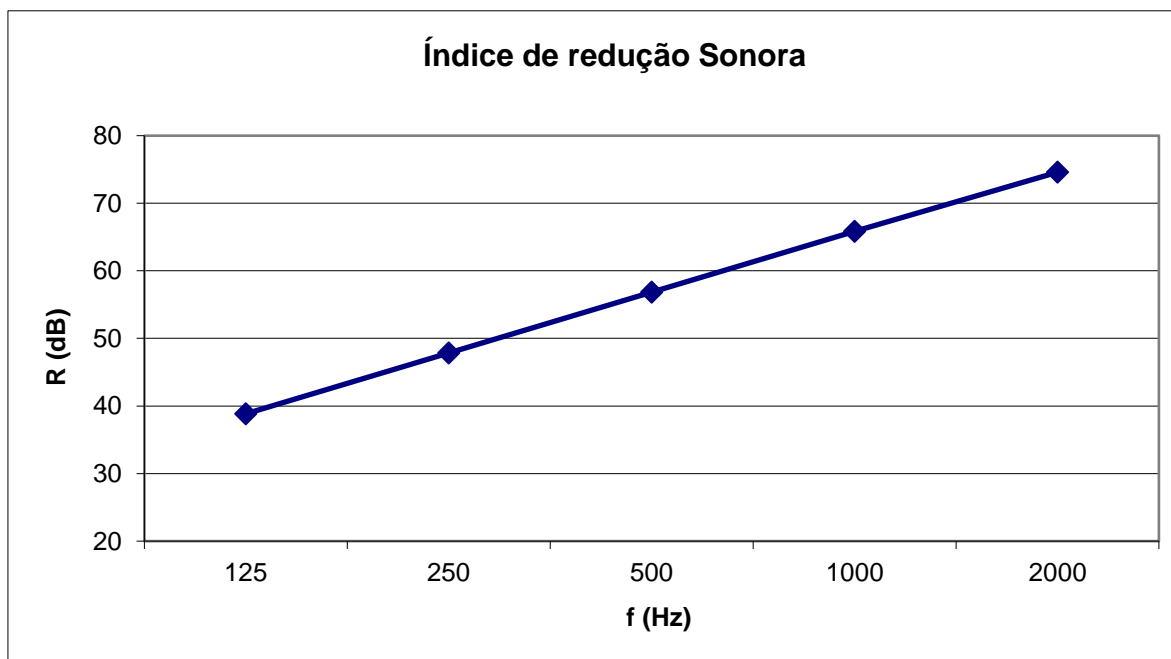
$f_{1,1}$ (Hz)	$1.5 f_{1,1}$ (Hz)	$1.5 f_{1,1} < 125$ Hz ?
57	85	OK

FREQUÊNCIA CRÍTICA E ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA (NOS PONTOS A E B):

	Ponto A	Ponto B
f (Hz)	$0.5 f_c$	f_c
	25	50
R (dB)	38,5	27,5

ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA PARA AS FREQUÊNCIAS NORMALIZADAS:

f (Hz)	125	250	500	1000	2000
R (dB)	38,8	47,8	56,8	65,8	74,6



Frequência (Hz)	125	250	500	1k	2k	$\Sigma\Delta i/5 =$ 2	
R_{médio total} (dB)	38,8	47,8	56,8	65,8	74,6		
ΔCR	0	9	16	19	20		
CR1	40	49	56	59	60		
$\Delta 1 (=CR1 - R)$	1,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,5	OK
CR2	42	51	58	61	62		
$\Delta 2 (=CR2 - R)$	3,2	3,2	1,2	0,0	0,0	1,5	OK
CR3	43	52	59	62	63		
$\Delta 3 (=CR3 - R)$	4,2	4,2	2,2	0,0	0,0	2,1	KO

R_w (dB)	58
---------------------------	----

TERMO DE ADAPTAÇÃO AO ESPECTRO DE RUÍDO ROSA, C

1/1 OITAVA

Frequência (Hz)	125	250	500	1k	2k
R (dB)	38,8	47,8	56,8	65,8	74,6
L _{ij,c} (dB)	-21	-14	-8	-5	-4
10 ^{(L_{ij}-R)/10} (dB)	1,0E-06	6,5E-07	3,3E-07	8,2E-08	1,4E-08
X _{Aji} (dB)	57				
R _w (dB)	58				
C (dB)	-1				

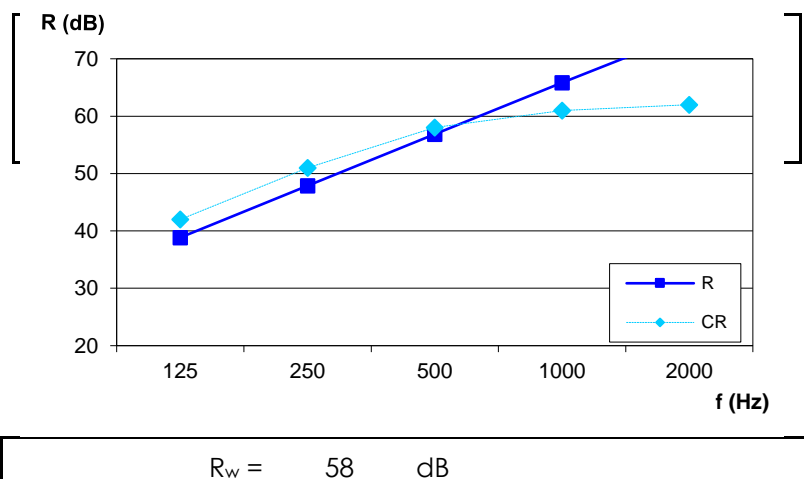
TERMO DE ADAPTAÇÃO AO ESPECTRO DE RUÍDO TRÁFEGO RODOVIÁRIO URBANO, C_{tr}

1/1 OITAVA

Frequência (Hz)	125	250	500	1k	2k
R (dB)	38,8	47,8	56,8	65,8	74,6
$L_{ij,c}$ (dB)	-14	-10	-7	-4	-6
$10^{(L_{ij}-R)/10}$ (dB)	5,2E-06	1,6E-06	4,1E-07	1,0E-07	8,7E-09
X_{Aji} (dB)	51				
R_w (dB)	58				
C_{tr} (dB)	-7				

$R_w (C;C_{tr})$ (dB)	58	-1	-7
-----------------------	----	----	----

$m =$	851 kg/m ²	$\eta_{int} =$	0,01		
$e =$	0,37 m	$c_L =$	3500 m/s		
		$f_c =$	50 Hz		
f (Hz)	125	250	500	1000	2000
R (dB)	38,8	47,8	56,8	65,8	74,6



f (Hz)	125	250	500	1000	2000
CR (dB)	42,0	51,0	58,0	61,0	62,0

Cálculo do índice de isolamento a sons aéreos exteriores $D_{2m,nT,w}$ da cobertura C1

Determinação do Índice de Isolamento a Sons de Condução Aérea $D_{2m,n,w}$ da Cobertura (C1)								
Área do Espaço Receptor (m^2)	37,32							
Pé Direito do Espaço Receptor (m)	3							
Área do elemento de separação, S (m^2)	37,32							
Elemento Considerado	Zona Opaca		Envidraçado		Ventilação		Cx. de Estore	
	R_w (dB)	C	R_w (dB)	C	R_w (dB)	C	R_w (dB)	C
R_w ou $D_{n,e,w}$ (dB)	58		0					
Área, S_i (m^2)	37,32		0,00		$D_{n,e,w}$		$D_{n,e,w}$	
T_i	1,5849E-05		0		-		-	
$R_{w,médio}$ (dB)	45							
$10 \log(V/6T_0S)$ (dB)	0,00							
Transmissão Marginal (dB)	-2							
ΔL_{fs}	0							
$D_{2m,nT,w}$ (dB)	56							
$D_{2m,nT,w}$ (dBA)	51							

Cálculo do L_{Aeq} , L_n e L_{den} provocados pelo funcionamento dos equipamentos na cobertura

L_w (dBA)	Dist. (m)	L_{Aeq} (dBA)	L_n^* (dBA)	L_e (dBA)	L_{den} (dBA)
63,1	30	33,6	33,6	33,6	39,9

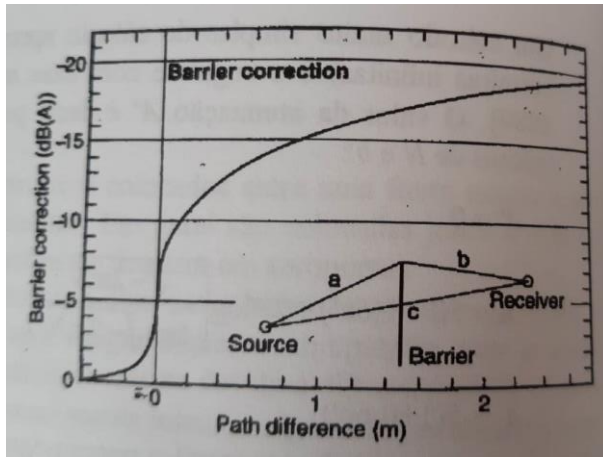
*considerando o funcionamento noturno dos equipamentos – situação mais desfavorável

Cálculo do L_{Aeq} , L_n e L_{den} provocados pela passagem do metropolitano num recetor a 30m de distância

L_n (dBA)	Dist. (m)	Tipo de fonte	L_w (dBA)
59	13	Linear	75,1
52	20	Linear	70,0

- Ponto P1 (cerca de 14m da fonte): $L_{den} = 64$ dBA e $L_n = 59$ dBA
- Ponto P2 (cerca de 20m da fonte): $L_{den} = 59$ dBA e $L_n = 52$ dBA

Cálculo da atenuação em dBA garantida pela barreira acústica



Fonte: *Acústica Ambiental e de Edifícios*, Departamento de Engenharia Civil, FEUP, A.P. Oliveira de Carvalho

$$a+b-c = 0,16\text{m}$$