

LINHA DE CINTURA E LINHA DO NORTE

PF0103 – QUADRUPLICAÇÃO DA LINHA DE CINTURA (ROMA/AREEIRO - BRAÇO DE PRATA) E MODERNIZAÇÃO DA LINHA DO NORTE (BRAÇO DE PRATA – SACA VÉM)



PROJETO DE EXECUÇÃO
VOLUME 10 – AMBIENTE
Tomo 10.01.06 – ANEXOS TEMÁTICOS

Anexo 06 – Ruído

Controlo de Assinaturas

Realizado	Revisto	Aprovado Coordenador Projeto
Beatriz Pinho Inês Paulino	Manuela Miguel	Mário Olivença
14-02-2025	14-02-2025	14-02-2025
Data e Assinatura	Data e Assinatura	Data e Assinatura

Não necessita de assinatura se aprovado eletronicamente

Informação do Documento	
Código Documento	
Referência	PF0103_PE_10_01_06_AT_00_Anexo_06
Revisão	00
Data	01-02-2025
Nome do Ficheiro	PF0103_PE_10_01_06_AT_00_Anexo_06

Registo de Alterações

Rev	Data	Autor	Secção Afetada	Alterações
00	14-02-2025	Vários	Edição inicial	-----

LINHA DE CINTURA E LINHA DO NORTE
DESIGNAÇÃO DO PROJETO
PROJETO DE EXECUÇÃO
VOLUME 10 – AMBIENTE
TOMO 10.01.06 – ANEXOS TEMÁTICOS
ANEXO 06 – RUÍDO

ÍNDICE

ANEXO 06 – RUÍDO

ANEXO 06.1 – QUADRUPLICAÇÃO DA LINHA DE CINTURA E MODERNIZAÇÃO DA LINHA DO NORTE

ANEXO 06.1.1 – CERTIFICADO DE VERIFICAÇÃO

ANEXO 06.2 – ESTAÇÃO DO ORIENTE (EO) E VIADUTO FERROVIÁRIO DE TRANSIÇÃO (VFT)

ANEXO 06.2.1 – CERTIFICADO DE VERIFICAÇÃO

ANEXO 06 – RUÍDO

ANEXO 06.1 – QUADRUPLICAÇÃO DA LINHA DE CINTURA E MODERNIZAÇÃO DA LINHA DO NORTE

ANEXO 06.1.1 – CERTIFICADO DE VERIFICAÇÃO



Despacho de Qualificação IPQ N° 541/2023

Etiqueta N°: 2024-001-391832-1

Certificado de Verificação

Número 245.71-00382

Ref.^a do Serviço VP-31803ML-24

ENTIDADE

PÁGINA 1 de 1

NOME Sonometria, Medições de Som, Projeto Acústico, Consultoria, Higiene e Segurança Lda
ENDEREÇO Rua da Mina, N° 21, Barrunchal
2710-404 - Sintra

INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO

DESIGNAÇÃO	Sonómetro com integrador			
CONSTITUIÇÃO	SONÓMETRO	MICROFONE	PRÉ-AMPLIFICADOR	CALIBRADOR
MARCA	CESVA	CESVA	CESVA	CESVA
MODELO	SC420	C140	PA020	CB006
NÚMERO SÉRIE	T247537	15734	568	902436

CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS

CLASSE DE EXATIDÃO	1
RESOLUÇÃO DO DISPOSITIVO AFIXADOR	0,1 dB
DESPACHO DE APROVAÇÃO DE MODELO	245.71.14.3.01

OPERAÇÃO EFETUADA

TIPO Verificação Periódica
DATA 09/05/2024
MÉTODO Comparação
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA Portaria n° 370/2023 de 15 de novembro e Proc. EIA PV 2501, Edição A, Revisão 00.
RASTREABILIDADE METROLÓGICA Às unidades SI, através do Multímetro Keysight 34461A e Microfone Brüel & Kjær 4180 calibrados em Laboratórios Acreditados.
RESULTADO **Aprovado** O Equipamento CUMPRE os requisitos da Norma IEC 61672-3 e legislação aplicável.
Nota Ao abrigo da Portaria n.º 370/2023, que aprova o Regulamento do Controlo Metrológico Legal dos Sonómetros, a operação associada a este Certificado de Verificação, no caso de aprovação, é válida por 12 Meses, após a data da sua realização.

Assinatura válida

Digitally signed by Trescal Portugal, Lda
Date: 2024.05.14 15:47:23 +01:00
Reason: Documento aprovado electronicamente

Executado Por

Hugo Duarte

O Diretor Técnico

Manuel Bernardo

O presente Certificado de Verificação só pode ser reproduzido no seu todo e apenas se refere ao(s) item(s) ensaiado(s).

Trescal Portugal

Site I: Rua 1º de Dezembro, n° 2, 2695-727 São João da Talha
Site II: Rua Rua do Ouro, Lote 13, 2950-007 Palmela
Site III: Rua Central da Gandra, n° 1512, R/C, 4585-116 Gandra
Email: info.portugal@trescal.com

Telf: +351 219 585 378
Telf: +351 212 389 409
Telf: +351 224 229 449
website: www.eialab.com

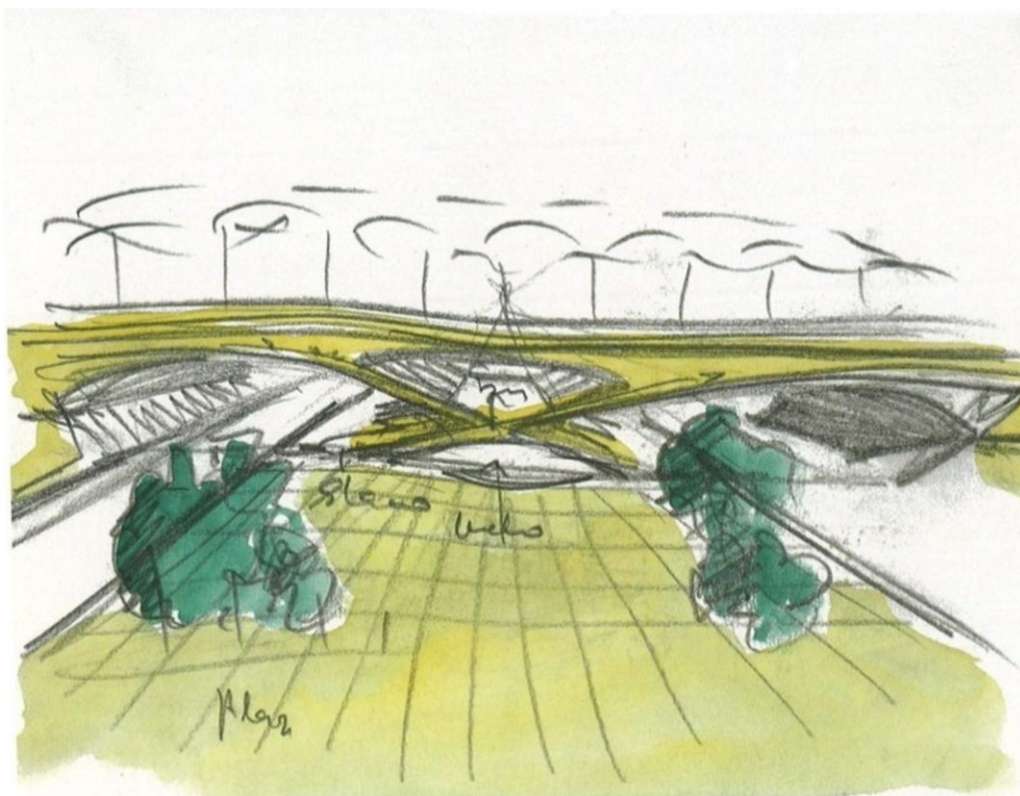
ANEXO 06.2 – ESTAÇÃO DO ORIENTE (EO) E VIADUTO FERROVIÁRIO DE TRANSIÇÃO (VFT)

ANEXO 06.2.1 – CERTIFICADO DE VERIFICAÇÃO

LINHA DE ALTA VELOCIDADE PORTO-LISBOA

AMPLIAÇÃO DA ESTAÇÃO DO ORIENTE E DO VFT

LINHA DO NORTE – ESTAÇÃO DO ORIENTE (PK 6+480)



PROJETO DE EXECUÇÃO

VOLUME 08 – EDIFICAÇÕES

TOMO 08.00.00.ACU – CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PROJETO – CONDICIONAMENTO ACÚSTICO

ESTUDO DE VIBRAÇÕES NA ESTAÇÃO E VFT

Controlo de Assinaturas

Elaborou (Autor do Documento)	Verificou (Autor do Projeto)	Aprovou (Coordenador do Projeto)
Fernando Luís Schiappa de Azevedo Rui Urbano Ferreira	Fernando Luís Schiappa de Azevedo	Gonçalo Jordão
18-09-2025	18-09-2025	18-09-2025

Não necessita de assinatura se aprovado eletronicamente

Informação Adicional	Informação do Documento	
O Gestor de Projeto Ricardo Almeida	Código Documento PF221A.P.08.00.00.ACU.RLT.01	
O Responsável Unidade EA-CCB – Nuno Bento	Revisão 01	Data 18-09-2025
O Responsável Departamento EA-EF – Fernando Vendas	Código Projetista	
O Diretor DEA – Pedro Pais	Nome do Ficheiro PF221A.P.08.00.00.ACU.RLT.01	

Registo de Alterações

Rev	Data	Autor	Secção Afetada	Alterações
00	28-05-2025	Fernando Luís Schiappa de Azevedo	Edição inicial	-----
01	18-09-2025	Fernando Luís Schiappa de Azevedo	Revisão Geral	Revisão Geral

LINHA DE ALTA VELOCIDADE PORTO-LISBOA
AMPLIAÇÃO DA ESTAÇÃO DO ORIENTE E DO VFT
LINHA DO NORTE – ESTAÇÃO DO ORIENTE (PK 6+480)
PROJETO DE EXECUÇÃO
ÍNDICE GERAL DO PROJETO

VOLUME 00 - GERAL

Tomo 00.00 - Caracterização Geral do Projeto

VOLUME 08 - EDIFICAÇÕES

Tomo 08.00 – Caracterização Geral do Projeto

Tomo 08.01 – Estação do Oriente

Tomo 08.02 – Viaduto Ferroviário de Transição

VOLUME 10 - AMBIENTE

VOLUME 11 - SERVIÇOS AFETADOS

LINHA DE ALTA VELOCIDADE PORTO-LISBOA
AMPLIAÇÃO DA ESTAÇÃO DO ORIENTE E DO VFT

PROJETO DE EXECUÇÃO

VOLUME 08 – EDIFICAÇÕES

TOMO 08.00.00.ACU – CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PROJETO – CONDICIONAMENTO ACÚSTICO

ESTUDO DE VIBRAÇÕES NA ESTAÇÃO E VFT

ÍNDICE

1	OBJETIVO E ÂMBITO	1
2	CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PROJETO.....	2
3	NORMAS E REGULAMENTOS APLICÁVEIS	7
4	COMPONENTE VIBRÁTIL.....	9
4.1	Introdução.....	9
4.2	Enquadramento da Avaliação.....	10
4.3	Condicionamento Vibrátil / Isolamento	10
4.3.1	Conveniência e Solução Adotada	10
4.3.2	Vibração da Estrutura nas suas Frequências Próprias	10
4.3.3	Projeto de Condicionamento Vibrátil.....	11
4.3.4	Solicitação.....	14
4.3.5	Instalação do isolamento	14
5	CONCLUSÃO	16
6	BIBLIOGRAFIA	17
7	ANEXOS	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema geral da obra (alçado).....	2
Figura 2 – Estrutura da ampliação da estação.....	3
Figura 3 – Secção transversal tipo da nova estação	4
Figura 4 – Detalhes da solução da nova estação (secção transversal tipo).....	5
Figura 5 – Detalhes da solução do VFT (secção transversal tipo)	6
Figura 6 – Redução/amplificação do deslocamento introduzidas pelo isolamento em função da frequência (Hz)	13
Figura 7 – Esquema construtivo do sistema de amortecimento	15

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Valores limites de conforto de acordo com os valores limite da velocidade eficaz da vibração, vrms; locais sensíveis, em casa ou no escritório (Critério LNEC para incomodidade).....	7
Quadro 2 – Danos de acordo com os valores limite da velocidade eficaz da vibração (Critério LNEC para danos em edifícios)	7
Quadro 3 – Valores limites do valor eficaz da velocidade (Norma ISO 2631).....	8
Quadro 4 – Redução/amplificação (do deslocamento introduzidas pelo isolamento)	12

1 OBJETIVO E ÂMBITO

No âmbito do projeto da ampliação da Estação do Oriente e respetivo viaduto ferroviário de transição (VFT) para a Linha de Alta Velocidade Porto-Lisboa, na área do Parque das Nações foi analisada a importância do condicionamento acústico desta nova obra tendo em conta as exigências regulamentares aplicáveis, nomeadamente as estabelecidas pelo Regulamento Geral de Ruído (RGR) e pelo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).

Tendo em conta as características do projeto, verifica-se que:

- A ampliação da estação será feita em estrutura distinta da atual;
- Sob a estação ampliada e pela presença da linha de metropolitano não se projetam quaisquer edifícios construídos, fazendo-se o acesso às plataformas através de mezzanines reduzidos, com amplas escadas que descem até aos pisos térreos;
- A estação ampliada – ponte com arco atirantado, constituída em caixão metálico – apenas tem ligação à estrutura da estação atual por uma laje basculante que constitui uma solução independente e sustentável, permitindo a passagem dos passageiros entre o cais novo e o cais existente;
- A ampliação do VFT será construída em estrutura similar ao VFT existente, com dois pisos construídos por baixo, sendo um dedicado a estacionamento (Piso +2) e o outro (Piso 0) usado para espaços comerciais (com duplo pé-direito), que serão disponibilizados aos futuros utilizadores em tosco.

Deste modo, o projeto das **soluções de condicionamento vibrático na ampliação da estação e VFT**, com vista ao tratamento antivibrático da via-férrea, constituirá uma medida de mitigação na “fonte” das vibrações, independentemente de eventuais futuros usos que venham a ser decididos para os pisos inferiores do VFT.

De acordo com estudos anteriormente desenvolvidos, a solução para o condicionamento vibrátil desenvolvida para o projeto, aponta para a utilização de isolamento sob as vias, constituído por “manta” elástica sob o balastro.

2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PROJETO

O projeto de Ampliação da Estação do Oriente é adjacente à estação existente, estando ligada a esta apenas através de uma laje basculante, o que restringe a transmissão de vibração entre as duas estruturas.

A nova estação prevê a construção de novas linhas para a circulação dos comboios de Alta Velocidade (AV) (Lisboa – Porto) e a construção de duas novas plataformas de passageiros (cais). Os comboios de AV, servidos por esta nova estação, terão 400 m de comprimento, prolongando-se os cais, para norte e para sul da estação.

O projeto inclui ainda a ampliação do Viaduto Ferroviário de Transição (VFT), com dois pisos construídos por baixo, sendo um dedicado a estacionamento (Piso +2) e o outro (Piso 0) usado para espaços comerciais (com duplo pé-direito), que serão disponibilizados aos futuros utilizadores em toco.

Na Figura 1 são apresentados os esquemas gerais da área de implantação e alçado do projeto (ampliação da estação e VFT).

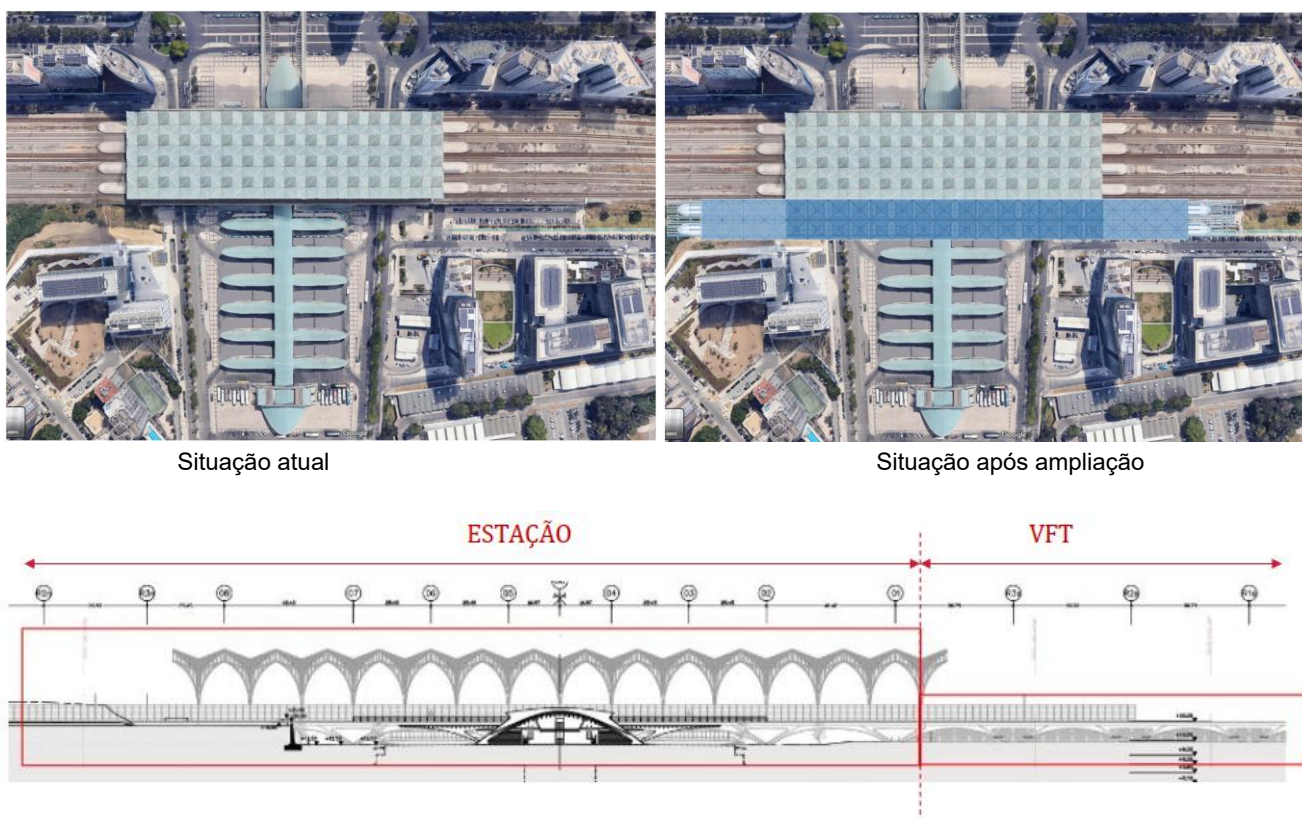
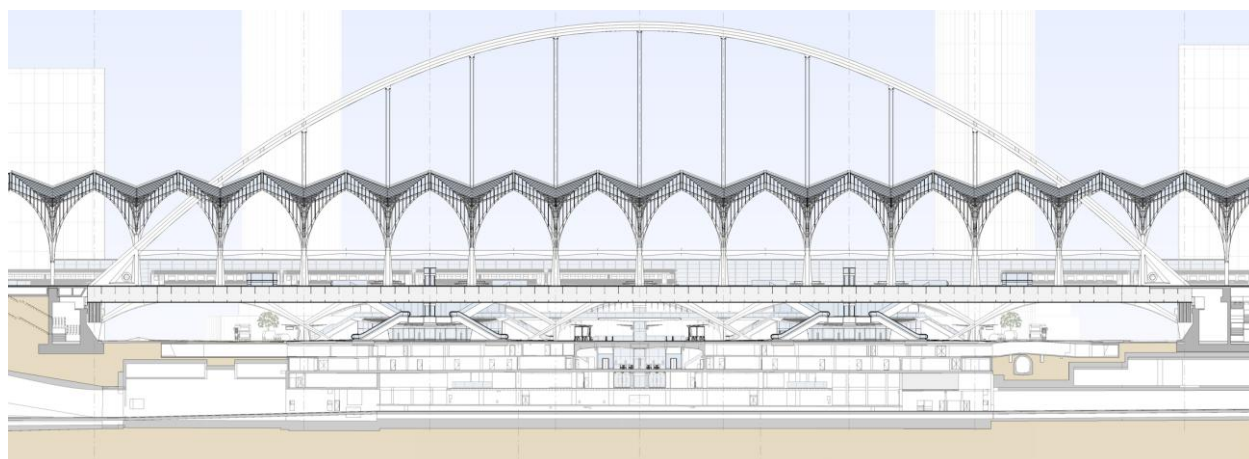


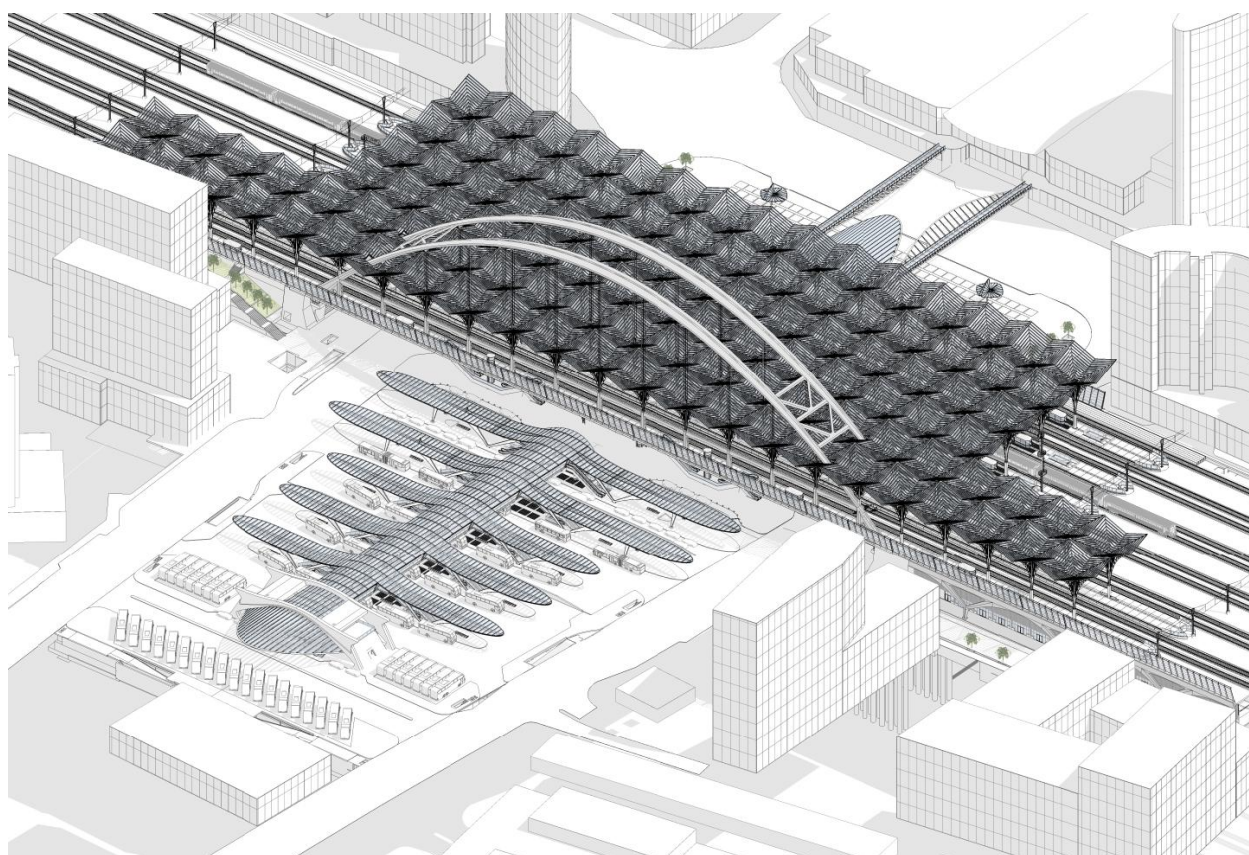
Figura 1 – Esquema geral da obra (alçado)

O funcionamento da estação ferroviária atual existente e do Metropolitano de Lisboa, não terão qualquer ligação à nova estação. Com esta opção de projeto restringem-se possíveis transmissões/'contaminações' entre estruturas originadas por diferentes fontes de vibração.

A solução estrutural adotada para a ampliação da estação, contendo vias de AV e os cais de embarque, consiste numa ponte constituída por um tabuleiro de 221 m de vão suspenso por tirantes de dois arcos superiores, 53 m acima do tabuleiro. Na Figura 2 apresenta-se o esquema geral da solução adotada e na Figura 3 a sua secção transversal tipo. Os detalhes da solução, ao nível dos cais e vias, são apresentados de modo esquemático na Figura 4, mostrando a solução independente e sustentável que evita a transmissão entre a nova estrutura e a atual estação.



(alçado)



(vista tridimensional)

Figura 2 – Estrutura da ampliação da estação

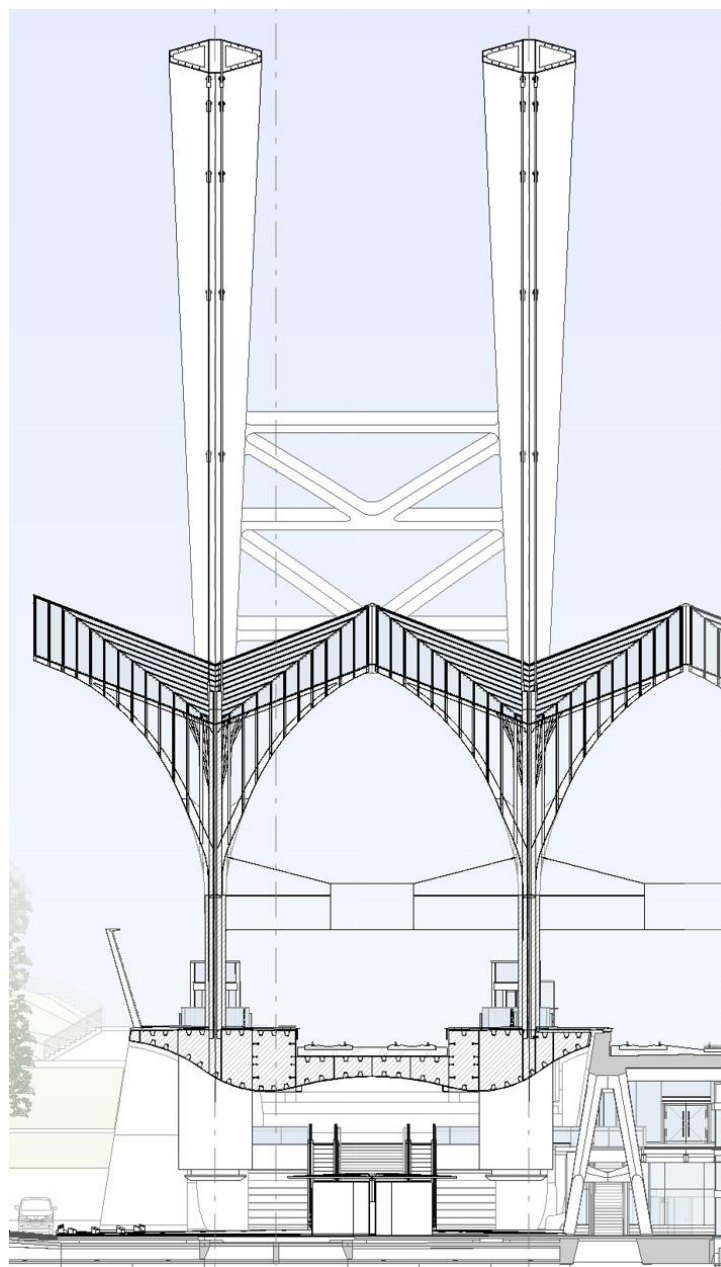


Figura 3 – Secção transversal tipo da nova estação

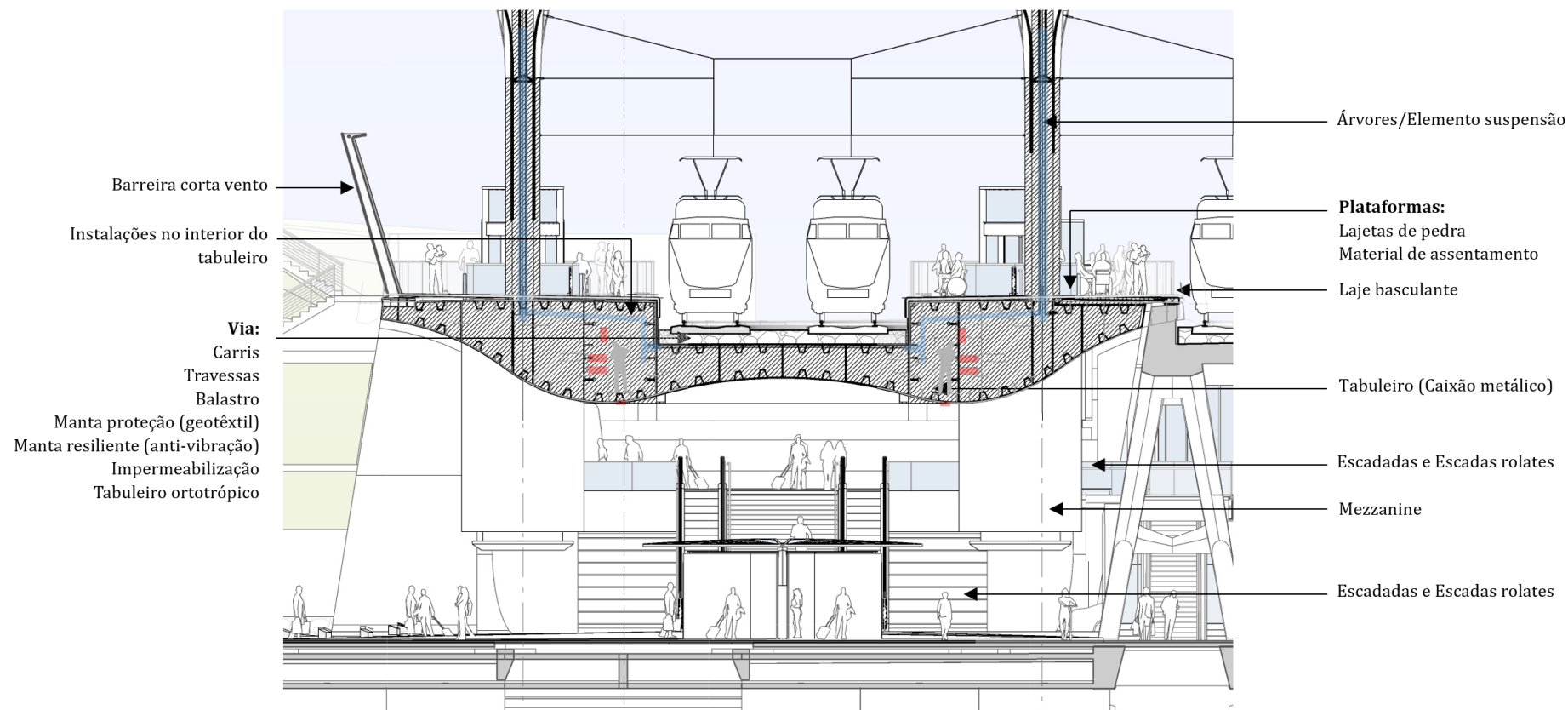


Figura 4 – Detalhes da solução da nova estação (secção transversal tipo)

Na Figura 5 apresenta-se o corte do VFT, com os dois pisos previstos para futuro estacionamento e uso comercial (com duplo pé-direito).

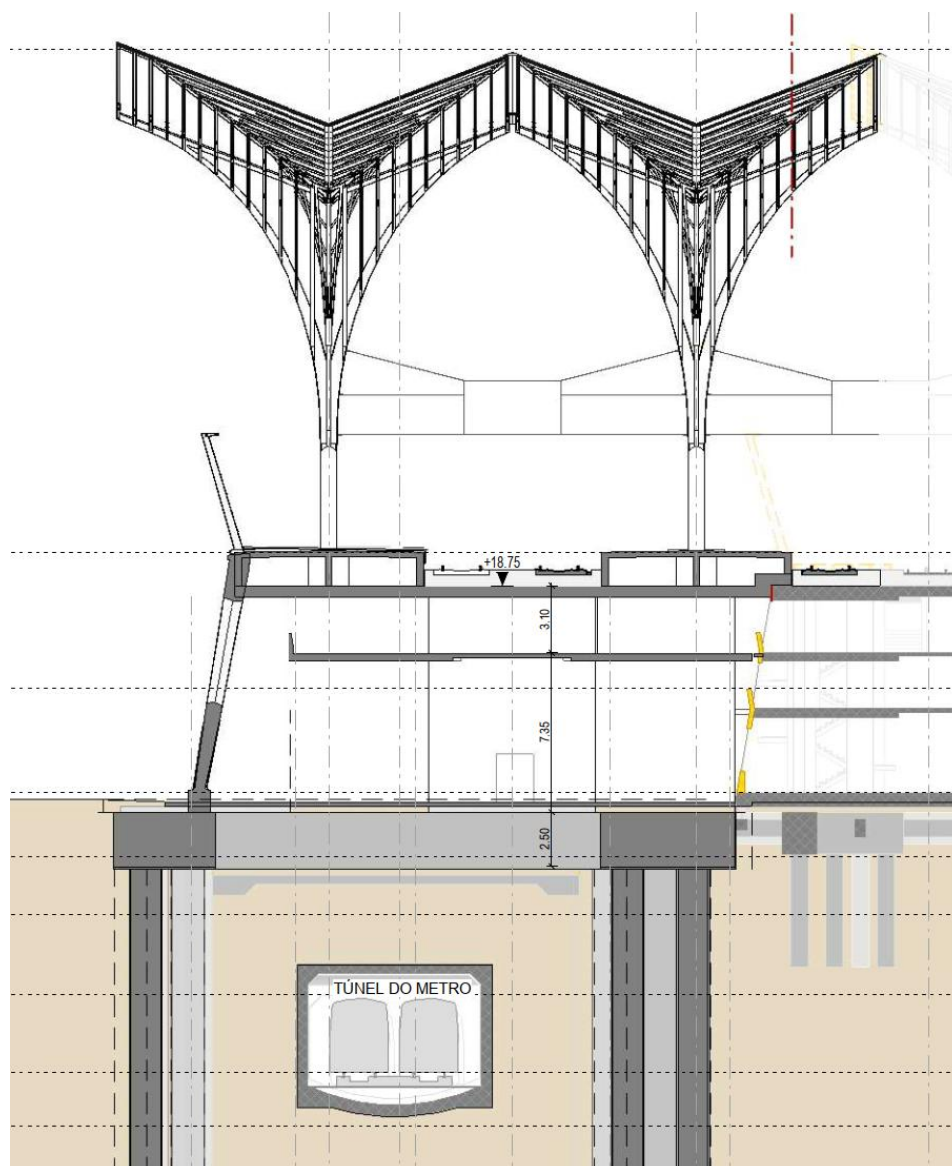


Figura 5 – Detalhes da solução do VFT (secção transversal tipo)

3 NORMAS E REGULAMENTOS APLICÁVEIS

No que diz respeito a Vibrações Ambientais não existe atualmente Legislação que limite o nível de vibrações junto de recetores sensíveis. Como critérios majorantes têm sido usadas as notas técnicas do LNEC que estabelecem os níveis máximos a que podem estar sujeitas as habitações em função da resposta do ser humano a vibrações e da segurança estrutural das habitações.

Estes critérios do LNEC a adotar para avaliar a influência das vibrações (para vibrações continuadas e enquanto não existirem normas portuguesas aplicáveis), estão agrupados da seguinte forma:

- Avaliação da reação do ser humano às vibrações, definida como Critério de Incomodidade;
- Avaliação dos possíveis danos causados no edificado devido a vibrações contínuas (também existente para vibrações impulsivas, mas estas não sendo esperadas da circulação ferroviária), definidos como Critérios de Danos nas Edificações.

O **Critério de Incomodidade** elaborado pelo LNEC, que é frequentemente usado neste tipo de avaliação, consiste na majoração de valores de velocidade eficaz de acordo com grau de reação do ser humano, nas suas habitações ou em locais de trabalho intelectual, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Valores limites de conforto de acordo com os valores limite da velocidade eficaz da vibração, v_{rms} ; locais sensíveis, em casa ou no escritório (Critério LNEC para incomodidade)

v_{rms} (mm/s)	Sensação
$v_{rms} \leq 0,11$	Nula
$0,11 < v_{rms} \leq 0,28$	Percetível, suportável para curta duração
$0,28 < v_{rms} \leq 1,10$	Nítida, incómoda, podendo afetar as condições de trabalho
$v_{rms} > 1,10$	Muito nítida, muito incómoda, reduzindo as condições de trabalho

Nota: Componente vertical, ou horizontal se esta for mais significativa.

Para o **Critério de Danos nas Edificações** os critérios usados neste caso específico consideram apenas o fenómeno de vibrações continuadas. Assim, para avaliação do impacte tendo como base vibrações continuadas o critério proposto pelo LNEC estabelece o critério com base na velocidade média eficaz, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Danos de acordo com os valores limite da velocidade eficaz da vibração (Critério LNEC para danos em edifícios)

v_{rms} (mm/s)	Efeitos
$v_{rms} < 3,5$	praticamente nulos
$3,5 \leq v_{rms} < 7$	possibilidade de danos cosméticos (queda de cal) em edifícios antigos
$7 \leq v_{rms} < 21$	fendilhação ligeira nos revestimentos

v_{rms} (mm/s)	Efeitos
$21 \leq v_{rms} < 42$	fendilhação acentuada nos revestimentos e alvenarias
$v_{rms} \geq 42$	danos consideráveis, possível fendilhação da estrutura de betão armado

Nota: Componente vertical, ou horizontal se esta for mais significativa.

A **norma ISO 2631-2: Avaliação da Exposição Humana às Vibrações**, na sua versão atual, estabelece **critérios para a avaliação da exposição humana à vibração em edifícios**, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Valores limites do valor eficaz da velocidade (Norma ISO 2631)

$\text{Max}(v_{rms}(f_i))$, (mm/s)	$\text{Max}(v_{rms}(f_i))$, dBv	Sensação
$v = 0,1$	66	Limiar da percepção, locais de uso sensível
$v = 0,14$	69	Em casa, noite
$v = 0,2$	72	Em casa, dia
$v = 0,4$	78	Escritório

Nota: Componente vertical, ou horizontal se esta for mais significativa, $1 < f_i < 80$ Hz.

4 COMPONENTE VIBRÁTIL

4.1 INTRODUÇÃO

A vibração, eventualmente incómoda, consistindo num movimento alternado, por exemplo de um piso, num local com utilização humana, é devida a uma onda de tensão que se propaga nos materiais da estrutura que suporta o piso, onda eventualmente com diversas componentes com várias frequências, originada numa fonte a alguma distância, por exemplo, um comboio movimentando-se na sua via.

É sabido que os sistemas de engenharia com massa e elasticidade, sejam metálicos, ou de betão, ou de outros materiais sólidos e coerentes, podem apresentar “frequências próprias”; quando solicitado por esforço alternado com componente com uma dessas frequências, o sistema pode adquirir um movimento alternado significativo com essa frequência, fenómeno chamado ressonância.

Assim, as ondas de tensão que logicamente se atenuariam (as amplitudes de vibração diminuiriam) com a distância à fonte, podem, em caso de ressonância, ter amplificações.

Um estudo das vibrações ambientais, como este, necessita de três conhecimentos, matematicamente descritos:

- i. da vibração gerada pelos comboios no seu movimento (fonte),
- ii. do modo como as ondas de tensão se propagam (percurso) da fonte até aos locais de uso humano, onde se pretende evitar incomodidade, (função de transferência),
- iii. e dos valores limite, nesses locais, para acima dos quais a vibração será incómoda (limiares de incomodidade).

Analiticamente, de uma forma simples, representando-se por $f(t)$ a fonte de vibração e por $v(t)$ a vibração que chega ao local de interesse, estas estão relacionadas por uma equação diferencial, linear para pequenos movimentos que, aplicando-se-lhe a transformação de Fourier, fica:

$$T^{-1}(\omega) \cdot V(\omega) = F(\omega)$$

Ou ainda

$$V(\omega) = T(\omega) \cdot F(\omega)$$

Onde:

$V(\omega)$ é o espectro da vibração no local de interesse
 $F(\omega)$ é o espectro da solicitação
 $T(\omega)$ a função de transferência.

Aplicando a função logarítmica, tem-se:

$$\text{Log } V(\omega) = \text{log } T(\omega) + \text{log } F(\omega)$$

4.2 ENQUADRAMENTO DA AVALIAÇÃO

A atual Estação (ferroviária) do Oriente serve, na Linha do Norte diversos tipos de comboios de passageiros (Alfa Pendular, Intercidades, Regionais e Urbanos), e também de mercadorias. Sob o tabuleiro, que suporta os cais e as linhas, há edifícios com diversas utilizações humanas: escritórios (do IP), salas de espera, cafetarias, etc.

No subsolo passa ainda, paralelamente às vias ferroviárias, uma linha do ML, Linha Vermelha, com a sua estação, também designada por Oriente.

No entanto, a Ampliação, para servir a Alta Velocidade é, como apresentado atrás, uma construção nova sem ligação solidária à estação atual e apenas a sul, sob a ampliação do VFT, que conduz à Ponte, está previsto o edifício já descrito, cujo condicionamento acústico nas futuras áreas comerciais será da responsabilidade dos seus futuros ocupantes.

Neste futuro edifício sob o VFT os valores deverão observar os limites dos critérios de incomodidade, sendo objetivo do IP, no presente projeto, adotar desde já cuidados de redução das vibrações “na fonte” nos tabuleiros ferroviários.

Toma-se como referência, para o isolamento a colocar sob as novas vias de AV, um valor tipicamente de incomodidade de $V_{rms}=1$ mm/s, conforme critérios do LNEC apresentados atrás, no *ponto 3*.

4.3 CONDICIONAMENTO VIBRÁTIL / ISOLAMENTO

4.3.1 CONVENIÊNCIA E SOLUÇÃO ADOTADA

Anteriores estudos e requisitos apontam para a instalação de um isolamento, sempre aconselhável, e também justificado pelos valores algo elevados esperados.

A solução adotada é constituída por uma via balastrada subjacente às travessas da via, e assente sobre uma manta de material elástico (resiliente), por sua vez aplicada sobre a camada de impermeabilização.

4.3.2 VIBRAÇÃO DA ESTRUTURA NAS SUAS FREQUÊNCIAS PRÓPRIAS

Além da passagem dos comboios AV, outras vibrações podem ocorrer nas estruturas da Ampliação, em particular na da Ponte, bem como pequenas vibrações incómodas, decorrentes da excitação de modos próprios da estrutura, em particular as oscilações vertical e de torção do tabuleiro. Verificou-se que no projeto de estruturas¹, também adiante referido, em observância do Eurocódigo 1 e norma

¹ Ampliação da Estação do Oriente e do VFT. Volume 8 – Edificações, Tomo 08.01.00.Est – *EO Solução Alternativa – Fundações e Estruturas (Estabilidade)* PF221A.PB.08.01.00.EST.CJT.01.docx. Santiago Calatrava LLC para IP- Infraestruturas de Portugal IP.

européia EN 1991-2:2003, acautelou a possibilidade dessas oscilações, mantendo-se os comboios ao atravessar a ponte a uma velocidade inferior a 140 km/hora.

4.3.3 PROJETO DE CONDICIONAMENTO VIBRÁTIL

4.3.3.1 Bases para o Dimensionamento

Analisou-se a eficiência de um isolamento por manta resiliente, ajustando-se algumas dimensões para compatibilidade do espaço previsto.

Procedeu-se aos cálculos para este isolamento, considerando-se duas mantas com espessuras standard, na gama recomendável dos cálculos preliminares, e com espessuras de 34 mm e 51 mm.

Procedeu-se aos cálculos para este isolamento, considerando-se mantas com 34 mm e 51 mm de espessura e todos os dados fornecidos (apresentados em anexo, extrato da folha de cálculo do ficheiro Excel 0085orient_e_futuro):

Comboio: AV - carga por eixo 18,5 ton/eixo = 181,3 kN/eixo [168-GP_01_SC_RI0010]

Massa não suspensa / massa total: $\approx 2/3$ (unidade Motora) a $1/3$ (carruagem de passageiros)

Comboio: velocidade na estação 70 km/hora = 19,44 m/s

Profundidade dos carris relativamente aos cais: 760 mm

Densidade do balastro 2 000 kg/m³

Massa dos carris: 54,77 kg/m e por carril

Massa das travessas: 247 kg, distância entre travessas: 600 mm (travessas embebidas)
[Sateba, C3408-3]

Altura (espessura) da camada de balastro subjacente às vias: 430 mm

Largura da camada de balastro subjacente às 2 vias: 7 800 mm (7,800 m)

Material da Manta: Rigidez dinâmica $E = 0,333 \text{ N/mm}^2$; Rigidez estática $E = 0,222 \text{ N/mm}^2$
[Nota: retirado de bibliografia, *Metro Lisbon – Dynamical Design – Regupol SB/16/100 mats.*]

Ponte:

primeira frequência própria vertical: $f = 0,904 \text{ Hz}$

segunda frequência própria vertical: $f = 1,685 \text{ Hz}$

[conforme PF221A.PB.08.01.00.EST.CJT.01.docx: ponto 6. Verificações de Segurança Rodoviária, cálculo relativo à aceleração vertical do tabuleiro, pág.^a 54/142]

Realizaram-se os cálculos para dois valores correntes de amortecimento (dissipação de energia), $\xi = 0,1$ e $\xi = 0,2$.

4.3.3.2 Resultados

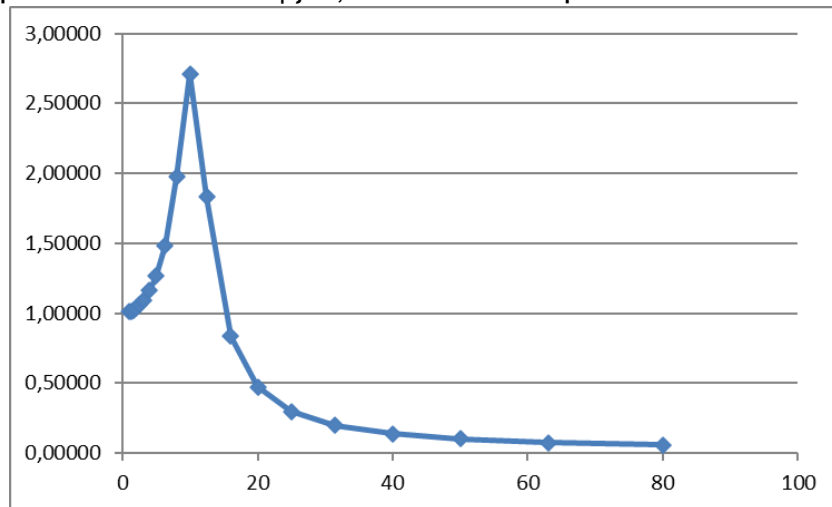
Os resultados obtidos estão resumidos no quadro e figuras seguintes. Foi também calculada a deformação vertical da via, sob o peso do comboio.

Quadro 4 – Redução/amplificação (do deslocamento introduzidas pelo isolamento)

Frequência (Hz)	Espessura da manta			
	51 mm		34 mm	
	Fator de amortecimento			
	ξ = 0,1	ξ = 0,2	ξ = 0,1	ξ = 0,2
1	1,01643	1,01640	1,00890	1,00889
1,25	1,02590	1,02582	1,01397	1,01395
1,6	1,04313	1,04290	1,02309	1,02302
2	1,06899	1,06840	1,03653	1,03637
2,5	1,11194	1,11038	1,05823	1,05781
3,15	1,18962	1,18500	1,09557	1,09443
4	1,34358	1,32773	1,16323	1,15984
5	1,65523	1,59326	1,27941	1,26912
6,3	2,58236	2,18557	1,52462	1,48596
8	4,94089	2,64278	2,19593	1,97396
10	1,54468	1,40209	4,59038	2,71324
12,5	0,67250	0,71619	2,30521	1,83119
16	0,34085	0,39736	0,80680	0,83639
20	0,20421	0,25638	0,41774	0,47405
25	0,12976	0,17588	0,24339	0,29752
31,5	0,08502	0,12480	0,14940	0,19751
40	0,05729	0,09082	0,09520	0,13672
50	0,04100	0,06915	0,06508	0,10066
63	0,02988	0,05305	0,04552	0,07535
80	0,02211	0,04084	0,03253	0,05702
100	0,01700	0,03223	0,02439	0,04453
125	0,01324	0,02556	0,01865	0,03506
160	0,01014	0,01985	0,01409	0,02709
200	0,00802	0,01582	0,01105	0,02154
250	0,00637	0,01263	0,00872	0,01716

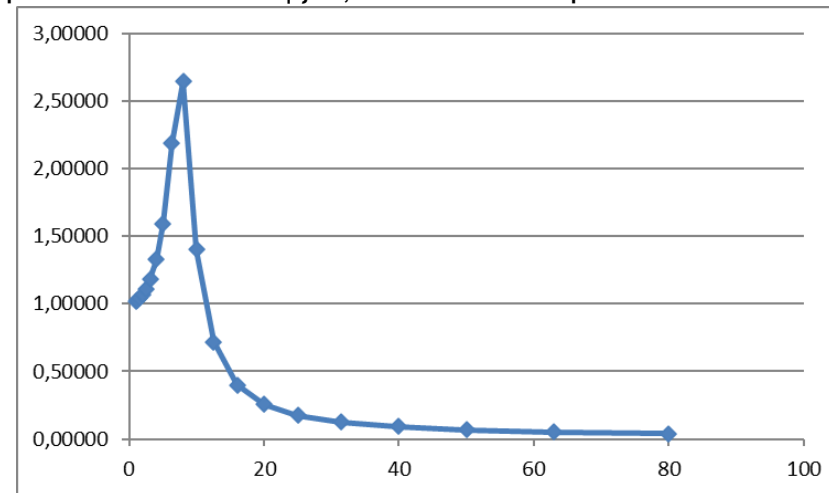
Espessura da manta = 34 mm | $\xi = 0,2$

espessura balastro = 430 mm



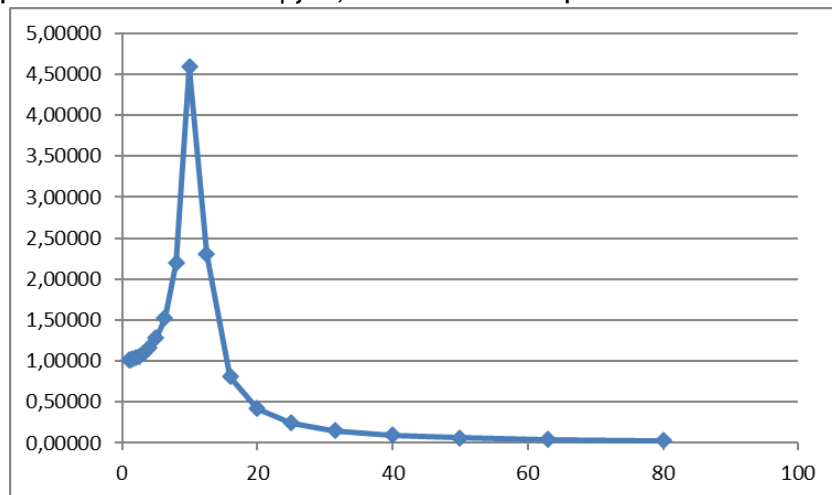
Espessura da manta = 51 mm | $\xi = 0,2$

espessura balastro = 430 mm



Espessura da manta = 34 mm | $\xi = 0,1$

espessura balastro = 430 mm



Espessura da manta = 51 mm | $\xi = 0,1$

espessura balastro = 430 mm

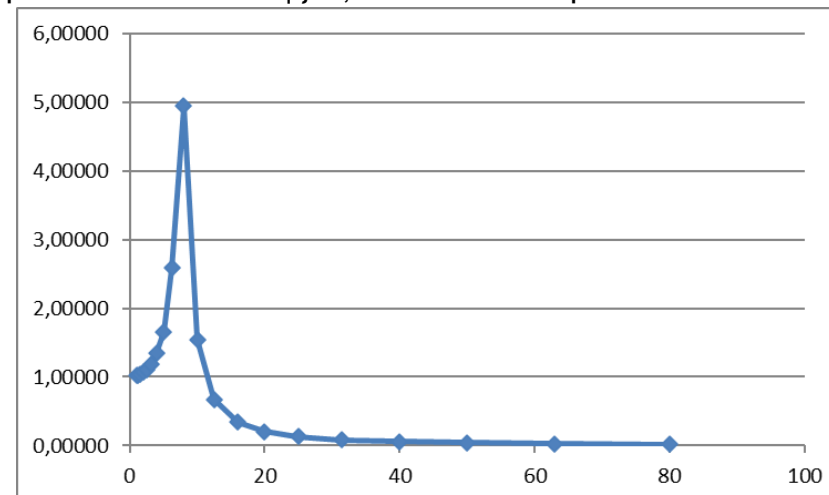


Figura 6 – Redução/amplificação do deslocamento introduzidas pelo isolamento em função da frequência (Hz)

Dos resultados obtidos, tem-se que:

- Para o isolamento com **manta de 51 mm**:
 - * a redução calculada da vibração verifica-se para frequências iguais ou superiores a 12,5 Hz;
 - * a máxima amplificação verifica-se pelos 6,3 a 8 Hz;
 - * a deformação da via sob o peso do comboio calculada é de $d = 3,5$ mm
- Para o isolamento com **manta de 34 mm**:
 - * a redução calculada da vibração verifica-se para frequências iguais ou superiores a 16 Hz
 - * a máxima amplificação verifica-se pelos 10 Hz;
 - * a deformação da via sob o peso do comboio calculada é de $d = 1,9$ mm

4.3.4 SOLICITAÇÃO

Na presente data ainda não está disponível o espectro da vibração que irá ser gerada pelos comboios de Alta Velocidade, ao pararem e arrancarem na nova Estação, ou ao passarem a velocidade de 70 km/hora. No entanto, admite-se que nunca será superior à gerada pelas composições ferroviárias tradicionais.

Os espectros da velocidade vertical de vibração gerada próximo da via, por comboios a 70 km/hora, têm geralmente valores máximos nas frequências entre 50 e 80 Hz, para as quais a redução dada pelo isolamento estudado varia entre 0,10 e 0,02.

Como exemplos e para o valor tipicamente de incomodidade de $V_{rms}=1$ mm/s, têm-se (50 Hz):

$$0,10 \times 1,0 = 0,10 \text{ mm/s, para manta de 34 mm}$$

$$0,069 \times 1,0 = 0,069 \text{ mm/s, para manta de 51 mm}$$

4.3.5 INSTALAÇÃO DO ISOLAMENTO

A manta é instalada sobre a camada de impermeabilização e acompanhando, ao nível das paredes, até à altura da espessura da camada de balastro, ou seja, na zona de encosto da camada de balastro com a estrutura.

Entre a manta resiliente e a camada de balastro deverá ser colocada uma manta geotêxtil para prevenir o dano / degradação do isolamento devido ao contacto com o balastro eventuais arestas ou outras protuberâncias do balastro.

Na Figura 7 junta-se o pormenor tipo da instalação da manta resiliente na ampliação da estação.

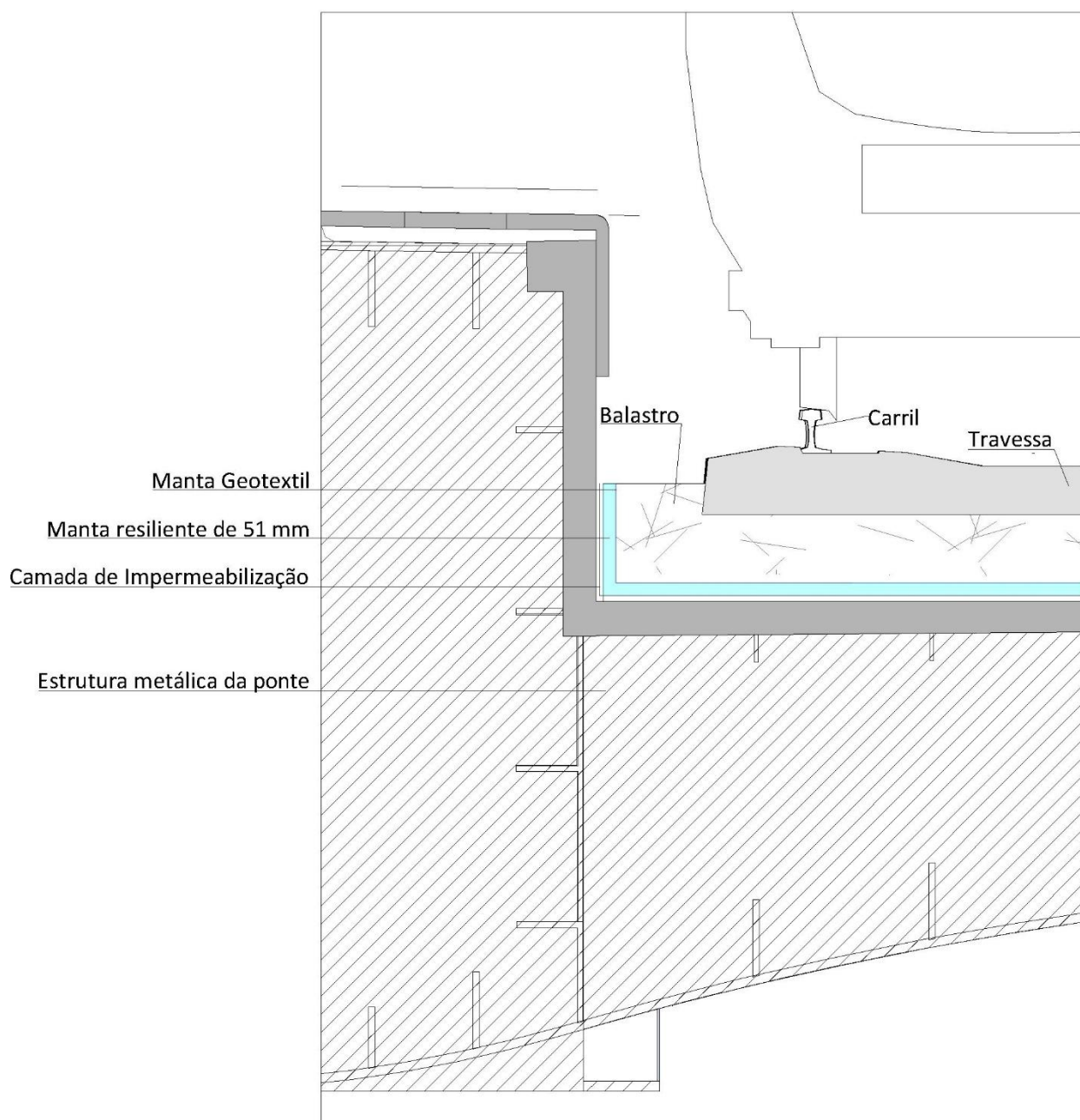


Figura 7 – Esquema construtivo do sistema de amortecimento

5 CONCLUSÃO

Não sendo esperados, de acordo com o critério do LNEC, níveis de vibração suficientemente intensos para provocar danos nas edificações, foi objetivo deste estudo o dimensionamento de um isolamento para o condicionamento vibrátil devido à circulação ferroviária pelos comboios de AV, de modo a minimizar “na fonte” as vibrações geradas e que possam conduzir à incomodidade (‘ruído estrutural’) de eventuais futuros utentes da edificação a construir, nomeadamente a prevista sob o VFT.

Optou-se por adotar a mesma solução de isolamento em todas as novas linhas do projeto de *Ampliação da Estação do Oriente e do VFT*, apesar de não estarem previstas qualquer tipo de instalações ou usos permanentes, nem haver edificado sob a ampliação da estação, assegurando as melhores condições de isolamento na ‘origem’ dos novos comboios de AV.

Assim e sem prejuízo do eventual condicionamento acústico que venha a ser considerado necessário para cada um daqueles futuros espaços comerciais sob o VFT, no âmbito do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), já que serão disponibilizados em tosco, o projeto pretende garantir que os valores de velocidade da vibração sejam adequados e que não serão responsáveis pela sensação de incomodidade de eventuais futuros utilizadores, tendo em conta, nomeadamente, os critérios definidos pelo LNEC e também os da norma ISO2631.

Foram assim dimensionadas mantas de material elástico (resiliente) para o condicionamento vibrátil da via-férrea, verificando-se que, a melhor solução corresponde à adoção de uma manta de 51 mm com coeficiente de amortecimento (ξ) de 0,1 ou 0,2 que assegurará um bom isolamento, muito provavelmente reduzindo a vibração originada pelos comboios a valores abaixo dos limiares de incomodidade.

6 BIBLIOGRAFIA

Rao, Singiresu – Mechanical Vibrations, Addison-Wesley (1995) – Sec. 9. Vibration Control, 9.9 Isolation.

ISO 2631-2:2003 Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)

Critérios LNEC para Vibrações nas Edificações – Incomodidade.

Norma Europeia EN 1991-2:2003 (Eurocódigo 1) – Actions on Structures – Traffic loads on Bridges: sec. 6. – Rail traffic actions actions for railway bridges. - Requirement for a static or dynamic analysis.

7 ANEXOS

Na página seguinte apresenta-se o extrato da folha de cálculo do ficheiro Excel 0085oriente_futuro, com os dados de base fornecidos pelo IP.

Dados fornecidos pelo IP sobre as características da estrutura e comboios:

Carga por eixo	Velocidade máxima	Velocidade real (Oriente)	Massa não suspensa	Distância entre eixos	Distância bogie/bogie
60% 14 ton/eixo 40% 20 ton/eixo	60% 120 km/h 40% 140 km/h	50% 70 -> 0 km/h 50% 0 -> 70 km/h	100% bogie motor 11,1 ton / bogie não motor 6,1 ton configuração dos bogies: Bo Bo + 2 2 + 2 2 + Bo Bo = Bo Bo + 2 2 + 2 2 + Bo Bo	Ver desenho técnico	Ver desenho técnico
100% 15 ton/eixo	100% 120 km/h	50% 70 -> 0 km/h 50% 0 -> 70 km/h	100% bogie motor 10,5 ton / bogie não motor 5,9 ton configuração dos bogies: 2 2 + Bo Bo + 2 2 = 2 2 + Bo Bo 2 2	Ver desenho técnico	Ver desenho técnico
25% 14,3 ton/eixo 75% loco: 21,8 ton/eixo vagão: 12,5 ton/eixo	25% 200 km/h 75% 180 km/h	50% 70 -> 0 km/h 50% 0 -> 70 km/h	25% bogie motor ND / bogie não motor ND 75% bogie loco ND / bogie vagão 6,2 ton configuração dos bogies: 25% 1A A1 + 1A A1 + 2 2 + 2 2 + 1A A1 + 1A A1 75% Bo Bo + (6x) 2 2	Ver desenho técnico	Ver desenho técnico
100% max 18,5 ton/eixo	100% 200 km/h	50% 70 -> 0 km/h 50% 0 -> 70 km/h	usar valores típicos	usar valores típicos	usar valores típicos
100% max 22,5 ton/eixo	100% 50 km/h	100% 50 km/h	loco: 3 ton/eixo configuração dos bogies: Co Co vagões: 4 a 8 ton/eixo dependendo do tipo de vagão	loco: ver desenho técnico vagão: usar valores típicos	loco: ver desenho técnico vagão: usar valores típicos
20% 14 ton/eixo 80% 20 ton/eixo	20% 120 km/h 80% 140 km/h	50% 70 -> 0 km/h 50% 0 -> 70 km/h	100% bogie motor 11,1 ton / bogie não motor 6,1 ton 100% Bo Bo + 2 2 + 2 2 + Bo Bo = Bo Bo + 2 2 + 2 2 + Bo Bo	Ver desenho técnico	Ver desenho técnico
100% 15 ton/eixo	100% 120 km/h	50% 70 -> 0 km/h 50% 0 -> 70 km/h	100% bogie motor 10,5 ton / bogie não motor 5,9 ton 100% 2 2 + Bo Bo + 2 2 = 2 2 + Bo Bo 2 2	Ver desenho técnico	Ver desenho técnico
40% 14,3 ton/eixo 60% loco: 21,8 ton/eixo vagão: 12,5 ton/eixo	40% 200 km/h 60% 180 km/h	50% 70 -> 0 km/h 50% 0 -> 70 km/h	40% bogie motor ND / bogie não motor ND 60% bogie loco ND / bogie vagão 6,2 ton 40% 1A A1 + 1A A1 + 2 2 + 2 2 + 1A A1 + 1A A1 60% Bo Bo + (6x) 2 2	Ver desenho técnico	Ver desenho técnico
100% max 18,5 ton/eixo	100% 200 km/h	50% 70 -> 0 km/h 50% 0 -> 70 km/h	usar valores típicos	usar valores típicos	usar valores típicos
100% max 22,5 ton/eixo	100% 50 km/h	100% 50 km/h	loco: 3 ton/eixo Co Co vagões: 4 a 8 ton/eixo dependendo do tipo de vagão	loco: ver desenho técnico vagão: usar valores típicos	loco: ver desenho técnico vagão: usar valores típicos