



## **ANEXO 4**

# **RUIDO E VIBRAÇÕES**





## ANEXO 4.1 – Estudo de Ruído



## 1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

### 1.1 Introdução

O Projeto da Ligação Ferroviária entre Évora e Évora Norte - Variante de Évora é suscetível de induzir impactos negativos no ambiente sonoro das zonas envolventes, devido à passagem de comboios e das correspondentes velocidades de circulação e tipologias de composições.

O ruído tem a sua génese tanto nos trabalhos de construção (fase transitória), como na passagem dos comboios na via-férrea (fase definitiva).

Os trabalhos de terraplanagem, construção, transporte e outros, envolvem, de uma forma geral, operações altamente ruidosas, tais como, por vezes, dinamitagem de pedra e construção de infraestruturas temporárias para suporte de terras. Embora todas estas operações sejam delimitadas no tempo, os níveis sonoros produzidos durante o seu funcionamento poderão assumir valores elevados.

Uma vez que na proximidade do traçado em estudo se observam usos do solo com sensibilidade ao ruído, importa proceder a um estudo detalhado dos níveis sonoros a esperar.

### 1.2 Poluição sonora

A Poluição Sonora é induzida pela obra de remodelação da linha a dois tempos:

- a) na fase de construção - devido aos trabalhos de construção na via férrea;
- b) na fase de exploração - devido à circulação de composições ferroviárias.

Do ponto de vista estrito da Poluição Sonora, os mecanismos de transmissão sonora são de duas naturezas: condução por via aérea e condução por via estrutural.

Os mecanismos de condução aérea são os que estão subjacentes à propagação sonora nas camadas de ar desde a fonte sonora até aos indivíduos recetores. Compreendem a propagação em espaço livre, a condução através de sanduíches de materiais, reflexões em superfícies envolventes e eventuais fenómenos de difração.

Os mecanismos de condução estrutural são os que estão subjacentes à propagação através de meios sólidos, quer por transmissão desde a fonte através do solo até à estrutura dos edifícios, quer por vibração mecânica de qualquer estrutura associada à via-férrea.

As situações de vizinhança mais sensíveis são as residenciais, escolares e hospitalares ou quaisquer outras que pela sua natureza (função/utilização) exijam baixos níveis de ruído. Estas utilizações estão contempladas na legislação Portuguesa que consigna limitações acústicas estritas.

A fase de construção é caracterizada, em cada local, pela sua delimitação temporal. Durante esta fase, nem todas as operações de construção empregam equipamento e maquinaria ruidosa. Consequentemente, em cada local, as operações ruidosas apenas ocuparão uma fração do tempo total de construção.

Na fase de exploração, o ruído de tráfego ferroviário tem carácter permanente. Os níveis sonoros gerados serão função da velocidade de circulação das composições e dos fluxos de tráfego previstos.

Os níveis sonoros produzidos nas áreas circundantes não assumem valores suficientemente elevados para serem traumáticos. Não haverá lugar a efeitos físicos do ruído no Homem - perdas auditivas, surdez.

Efeitos de ordem fisiológica e psicológica podem no entanto ter lugar, traduzindo-se em incomodidade. Estas perturbações podem assumir graus de severidade ligeiros ou graves. Estados de cansaço, irritabilidade e nervosismo subjacentes podem ser induzidos, sendo o seu grau proporcional à quantidade de energia sonora recebida, e à forma como esta se apresenta. A perturbação do sono pelo ruído (com efeitos psicossomáticos eventualmente graves), particularmente relevante, poderá não estar ausente em algumas das situações em presença. Os problemas daí decorrentes são os de maior gravidade e poderão fazer-se sentir em especial nas zonas residenciais e hospitalares onde são exigidas condições de repouso. A perturbação da atenção e concentração afetará utilizações escolares de forma especial.

Observe-se que a noção por vezes vulgarizada em face de situações de poluição sonora da "habituação ao ruído" não é correta. O que tem lugar é uma adaptação do organismo humano a uma situação agressiva, adaptação que se faz à custa da diminuição (ou destruição) das reservas psicológicas do indivíduo criando uma disposição de nervosismo e, por vezes, incapacidade de reação a determinados estímulos.

## 2 ENQUADRAMENTO LEGAL

A legislação nacional sobre o ruído ambiente em Portugal, atualmente enquadrada pelo Regulamento Geral do Ruído (anexo ao Decreto-lei n.º9/2007 de 17 de Janeiro e retificado pela Declaração de Retificação n.º18/2007 de 16 de Março), estabelece o regime de prevenção e controlo da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem estar das populações.

De acordo com o Regulamento Geral do Ruído as infraestruturas de transporte são contempladas no seu artigo 19.º, “Infraestruturas de transporte”, o qual determina que “as infraestruturas de transporte, novas ou em exploração estão sujeitas aos valores limite fixados no artigo 11.º”.

As alíneas a) e b) do ponto 1 do artigo 11.º estabelecem em função da classificação de uma zona como mista ou sensível, os seguintes valores limite de exposição: 65 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e 55 dB(A) para o indicador  $L_n$  nas “zonas mistas” e 55 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e 45 dB(A) para o indicador  $L_n$  nas “zonas sensíveis.” Mas, se na proximidade das zonas sensíveis existir em funcionamento uma grande infraestrutura de transporte, os valores limites passam a ser de 65 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e 55 dB(A) para o indicador  $L_n$ .

De acordo com as alíneas d) e e) do mesmo ponto, para zonas sensíveis em cuja proximidade esteja projetada, à data de elaboração ou revisão do plano municipal, uma grande infraestrutura de transporte, os valores limite de exposição são: 65 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e 55 dB(A) para o indicador  $L_n$ , no caso de tráfego aéreo e 60 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e 50 dB(A) para o indicador  $L_n$  para outro tipo de transporte.

O ponto 3 do artigo 11.º estabelece que na ausência da classificação de zona mista e de zona sensível os valores limite de exposição a aplicar aos recetores sensíveis são: 63 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e 53 dB(A) para o indicador  $L_n$ .

O artigo 3º do Regulamento Geral do Ruído define “zona sensível” como a “área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local .....”. “Zona mista” é “área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afectada a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zonas sensível”.

O n.º 2 do artigo 6º do Regulamento Geral do Ruído estabelece que “compete aos municípios estabelecer ... a classificação, a delimitação e a disciplina das zonas sensíveis e das zonas mistas”.

O traçado da Ligação Ferroviária entre Évora e Évora Norte – Variante de Évora atravessa o concelho de Évora. A Câmara Municipal de Évora ainda não possui zonamento acústico das zonas atravessadas assim, aplicam-se aos recetores os valores limite de 53 dB(A) para o indicador  $L_n$  e 63 dB(A) para o indicador  $L_{den}$ .

### 3 PREVISÕES DE RUÍDO DE TRÁFEGO FERROVIÁRIO

#### 3.1 Ruído de tráfego ferroviário

##### 3.1.1 Emissão

Na fase de exploração, sobressaem os efeitos do ruído de circulação ferroviária. Este ruído resulta da passagem das composições. O número de veículos por unidade de tempo (tráfego médio) é um fator de importância primordial na geração do ruído. A energia do ruído produzido é a soma da energia do ruído devido às diferentes fontes em presença.

A fonte sonora, o veículo ferroviário, considera-se constituída por um conjunto de fontes com características direcionais bem estabelecidas. Impõe-se uma análise estatística e uma análise energética.

O ruído lateral gerado por uma composição (ou por um determinado troço de linha) apresenta algumas características peculiares, como sejam a sua diferente composição espectral em relação ao ruído rodoviário, a "assinatura" temporal, ou seja, a evolução no tempo de uma passagem da composição e o seu carácter "intermitente". Mais especificamente, é o resultado de diversos fatores que incluem fenómenos de interação roda-carril e aerodinâmicos.

O ruído de rolamento é proporcional à velocidade de circulação e depende do estado da via, nomeadamente da qualidade dos carris, do tipo de balastro e de travessas de fixação e da existência ou não (carris continuamente soldados) de juntas. Modificações na via - caso de pontes, metálicas em particular - têm também uma incidência muito nítida no ruído percebido.

Sempre que uma nova linha é planeada ou modificações na circulação de uma linha já existente são propostas, é requerida uma estimativa dos níveis relevantes de ruído. A acústica previsional utiliza ferramentas poderosas aferidas por campanhas de medições experimentais em condições

controladas, seguindo as recomendações e as disposições normativas nacionais e internacionais aplicáveis.

### 3.1.2 Propagação

A propagação do ruído na atmosfera, desde o emissor até aos pontos recetores caracteriza-se por uma diminuição da grandeza da energia com a distância devido a diversos mecanismos físicos.

A atenuação dos níveis sonoros com a distância depende da lei de dispersão das ondas sonoras e de mecanismos de perdas. Tomando como referência o nível sonoro medido ou previsto a uma distância  $x_0$  determinada, o nível sonoro  $L$  a uma distância  $x$  qualquer vem dado por:

$$L(x) = L(x_0) - A$$

em que  $A$  vem dado por  $A = A_{\text{disp}} + A_{\text{absor}} + A_{\text{terr}} + A_{\text{vent}}$ .

O termo  $A_{\text{disp}}$  representa a atenuação de energia imposta pela dispersão de energia na frente de onda. A energia decai com o inverso da distância de acordo  $A_{\text{disp}} = K \log(x/x_0)$ , em que a constante  $K$  depende de condições específicas do tráfego ferroviário e se situa entre 10 e 20.

O termo  $A_{\text{absor}}$  representa a atenuação de energia devida a mecanismos de perdas na atmosfera (absorção molecular, transformações e condução de calor). Embora a sua importância seja desprezável para as baixas frequências ou para pequenas distâncias, para distâncias da ordem da centena de metros ou para frequências acima dos 500 Hz a importância desta contribuição pode ser considerável. Como, por um lado, o ruído de tráfego ferroviário tem uma composição espectral de banda larga, e por outro, as distâncias entre o troço em estudo e as utilizações consideradas estendem-se até às centenas de metros, este efeito torna-se relevante.

O termo  $A_{\text{terr}}$  pode englobar efeitos variados relativos ao tipo e geometria do terreno. Efeitos de absorção no solo, de reflexão, de atenuação em taludes são aí incluídos.

O termo  $A_{\text{vent}}$  engloba o efeito de ventos dominantes eventualmente existentes. Este efeito pode ser significativo para distâncias superiores a 200 ou 300 metros. A velocidade de propagação altera-se com o meio em movimento. Assim, com o vento a favor, a propagação faz-se a uma maior velocidade e aquele termo é negativo. No entanto, contra o vento, pode haver lugar a curvatura dos raios sonoros e a formação de zonas de sombra, o que produz uma atenuação suplementar não desprezável.

Outros efeitos, que poderiam ser incluídos na equação acima, como os resultantes de variações de temperatura, não o foram por não se justificar a sua relevância no caso em estudo.

### 3.2 Modelo de tráfego ferroviário

#### 3.2.1 Metodologia

No âmbito do presente estudo, procedeu-se, a um trabalho de modelação e de simulação computacional, no sentido de estudar a distribuição espacial dos níveis sonoros gerados pela circulação do tráfego ferroviário.

Os cálculos de emissão sonora da circulação ferroviária foram efetuados de acordo com o modelo SRMII, referido no Decreto-Lei n.º 146/2006 de 31 de Julho, validado para o tráfego ferroviário nacional, de acordo com a metodologia desenvolvida pelo Grupo de Acústica e Controlo de Ruído do CAPS/IST em parceria com a REFER.

Foram introduzidos na modelação e simulação os dados dos terrenos e todas as características das fontes sonoras.

A modelação acústica foi utilizada para prever, junto aos usos do solo com sensibilidade ao ruído, os níveis sonoros correspondentes à propagação do ruído gerado pelo tráfego ferroviário, na situação inicial e na situação futura, de forma a analisar a necessidade de implementação de medidas de minimização.

Foram efetuadas previsões dos indicadores de ruído  $L_{den}$  e  $L_n$  nas áreas envolventes da linha férrea, para a situação inicial e para a situação futura - pleno funcionamento da linha.

Foram elaboradas simulações de ruído de tráfego ferroviário, de acordo com os dados de tráfego e velocidades médias de circulação disponibilizados e que se apresentam no Capítulo 6 do presente documento.

#### 3.2.2 Modelo

As previsões do ruído da circulação do tráfego ferroviário tomaram em consideração os dados de tráfego e velocidades médias de circulação disponibilizados.

**Quadro AT4.1** - Tráfego ferroviário (passageiros e mercadorias) previsto para a situação inicial e de pleno funcionamento da linha

Tipologia Comboio	Nº comboios por dia (2 sentidos)	
	Situação inicial	Pleno funcionamento
Passageiros	8	
Mercadorias	14	18

A distribuição do tráfego pelos três períodos de referência é exposta no quadro seguinte.

**Quadro AT4.2** - Distribuição do tráfego pelos três períodos de referência

Diurno	Entardecer	Noturno
60%	10%	30%

O tipo de material circulante considerado é o idêntico ao que atualmente circula na restante rede, ou seja:

- Passageiros: Lisboa/Elvas (IC) – UTE 2240 (69 m);
- Passageiros: Lisboa/Madrid – CPA 4000 (159 m);
- Locomotiva Mercadorias – L5600 (20 m) + vagões.

O perfil de velocidades adotado é apresentado no quadro seguinte.

**Quadro AT4.3** - Diagrama de Velocidades de Projeto da Ligação ferroviária entre Évora e Évora Norte

PK Inicial	PK Final	Velocidade Máxima	
		Passageiros	Mercadorias
116+600.00	116+638.73	100	100
116+638.73	116+990.40	70	70
116+990.40	117+641.27	80	80
117+641.27	119+374.98	90	90
119+374.98	120+683.44	110	110
120+683.44	127+822.76	120	120

Foi construído um modelo tridimensional dos eixos ferroviários. O modelo contempla a cartografia dos terrenos, a linha ferroviária, os dados de tráfego e o perfil de velocidades.

Foram utilizados os dados cartográficos fornecidos em formato CAD, para a importação da topologia dos terrenos. O traçado dos eixos foi também importado de formato CAD.

Para completar este modelo, foram adicionados os objetos mais importantes nomeadamente habitações. Só desta forma seria possível contabilizar os fenómenos físicos mais relevantes, tais como reflexões em fachadas, efeitos topográficos e outros referentes às características 3D dos terrenos e via ferroviária.

Foram, também, introduzidos os dados relevantes correspondentes às composições circulantes na linha férrea.

As previsões de ruído consideraram a via balastrada.

### 3.3 Previsões de ruído de tráfego ferroviário

Os resultados das previsões dos indicadores de ruído  $L_{den}$  e  $L_n$  nas áreas envolventes da linha férrea, para a situação inicial e para a situação futura - pleno funcionamento da linha, são apresentados sob a forma de Mapas de Ruído, que constituem distribuições espaciais dos níveis de ruído gerados pela circulação ferroviária

Os Mapas de Ruído foram elaborados de acordo com as disposições nacionais e internacionais aplicáveis, nomeadamente as recomendações constantes do documento “Mapas de Ruído/Princípios Orientadores” (Anexo do Despacho nº 10856/2003 de 31 de Maio) emitido pelo Instituto do Ambiente, as constantes da Diretiva Europeia 2002/49/EC relativa à avaliação e gestão de ruído ambiente e as constantes do documento “*Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*” elaborado pelo EU Noise Policy Working Group on Assessment of Exposure to Noise (versão 1 de Dezembro de 2003 e versão 2, atualizada em Agosto 2007).

Foi efetuado um estudo preliminar de convergência relativamente à extensão da área envolvente a estudar e à dimensão da malha de pontos recetores para cálculo no sentido de encontrar os valores otimizados para a situação em estudo. A elaboração final dos mapas de ruído tomou os valores mais adequados à topografia em cada local.

Foi utilizada uma malha de cálculo de 5x5 m, a uma altura acima do solo de 4,0 m de acordo com os critérios legais vigentes. O n.º de reflexões considerado foi 3 e a equidistância das curvas de nível foi de 5 m.

Os mapas de ruído apresentam a distribuição de níveis sonoros em intervalos de 5 dB(A), desde 45 dB(A) até 75 dB(A).

Os Mapas de ruído, que se apresentam conjuntamente com o presente documento, apresentam as faixas de ruído gerado pela circulação ferroviária na Ligação Ferroviária entre Évora e Évora Norte – Variante de Évora, para a situação inicial e para a situação futura.

## 4 AVALIAÇÃO DE IMPACTES NO RUÍDO AMBIENTE

### 4.1 Fase de Construção

Os trabalhos de construção envolvem operações diversas como desmatagem de terrenos, escavação, terraplanagem e transporte de terras e materiais, instalação de estaleiros, ocupação de espaços bem como operações acessórias necessárias aos trabalhos tais como o funcionamento de martelos pneumáticos ou betoneiras.

Algumas operações implicam a produção de níveis elevados de ruído – utilização de martelos pneumáticos, trabalhos de escavação. Outros geram níveis mais baixos – transporte de/em veículos pesados.

Enquanto umas operações têm duração limitada no tempo em cada local, outras afetarão toda a área vizinha durante quase todo o tempo de construção. Estas últimas operações implicarão, em termos médios, níveis mais elevados do que os resultantes do funcionamento normal das instalações existentes.

Deverá ser considerada, ainda, uma fase de pós-construção que inclui a remoção dos estaleiros, recolha de materiais e a reposição da situação inicial.

A propagação do ruído e a atenuação da sua energia com a distância depende da lei de dispersão das ondas sonoras e de fenómenos de reflexão, de absorção e outras perdas. Tomando como referência o nível sonoro medido ou previsto a uma distância  $x_0$  determinada, o nível a uma distância  $x$  qualquer vem dado por:

$$L(x) = L(x_0) + D(\theta) - A$$

em que o fator direcional  $D(\theta)$  representa a diretividade da fonte sonora e o fator de atenuação  $A$  vem dado por

$$A = A_{\text{disp}} + A_{\text{absor}} + A_{\text{terr}} + A_{\text{vent}} + A_{\text{outr}}$$

O termo  $A_{\text{disp}}$  representa a atenuação de energia imposta pela dispersão de energia na frente de onda.

Para os equipamentos e atividades de construção, verifica-se onda esférica,  $= 20 \log (x/x_0)$ . A energia decai de 6 dB por cada duplicação da distância de afastamento.

O termo  $A_{\text{absor}}$  representa a atenuação de energia devida a mecanismos de perdas na atmosfera (absorção molecular, transformações e condução de calor). Embora a sua importância seja desprezável para as baixas frequências ou para pequenas distâncias, para distâncias da ordem das centenas de metros ou para frequências acima dos 500 Hz a importância desta contribuição pode ser considerável.

O termo  $A_{\text{terr}}$  pode englobar efeitos variados relativos ao tipo e geometria do terreno. Efeitos de absorção, de reflexão, de atenuação no solo são aí incluídos. O termo  $A_{\text{vent}}$  engloba o efeito de ventos dominantes eventualmente existentes, mas que para este tipo de emissões sonoras não se considera relevante.

Com base no algoritmo de propagação sonora referido, é possível determinar os valores dos níveis sonoros  $L_{\text{Aeq}}$  resultantes de operações e de equipamentos de construção que poderão vir a ser utilizados na fase de construção, com base em resultados de diversas medições acústicas realizadas na proximidade de equipamentos e atividades similares.

**Quadro AT4.4 - Níveis sonoros  $L_{\text{Aeq}}$  gerados por operações e equipamentos de construção**

Atividade / Operação	$L_{\text{Aeq}}$ dB(A)			
	Zona próxima	100 m	300 m	400 m
Movimentação de terras e escavação	72-75 (30 m)	62-65	52-55	49-52
Betoneiras e equivalentes	73-81 (50 m)	67-75	57-65	55-63
Martelos pneumáticos	86 (20 m)	72	62	60
Geradores	70 (50 m)	64	54	52
Atacadeira	85 (25 m)	73	63	61

Os valores constantes do quadro anterior referem-se a propagação em espaço livre (em linha de vista).

Os níveis sonoros previstos durante a fase de construção junto dos recetores com sensibilidade ao ruído dependerão de:

- (i) Tipo(s) de atividade(s) / operação(ões) / maquinaria de construção que estiverem a decorrer em simultâneo,
- (ii) Localização da frente de obra,
- (iii) Distância da frente de obra aos recetores com sensibilidade ao ruído e
- (iv) Horário de funcionamento da obra (período diurno e/ou período noturno).

Os valores indicados no quadro anterior devem ser tomados como indicativos, permitindo inferir ordens de grandeza dos níveis sonoros previstos durante a execução das diferentes operações e atividades construtivas, consoante a distância de proximidade às respetivas operações. Não sendo possível prever com exatidão, os níveis sonoros junto dos recetores sensíveis ao ruído, pode, no

entanto, considerar-se que a situação normal será a correspondente à simultaneidade de operações/atividades com utilização de equipamentos mais ruidosos e de equipamentos e atividades menos ruidosas.

Poder-se-á então estimar, que os níveis sonoros  $L_{Aeq}$  produzidos por máquinas escavadoras e de transporte de terras e/ou materiais, situar-se-ão entre os 72 dB(A) e os 75 dB(A), a cerca de 30 m às operações. A 100 m de distância, estes valores decrescem para um intervalo que se situa entre os 62 dB(A) e os 65 dB(A). Este intervalo não excederá os 55 dB(A) a partir dos 250 m de distância.

Os impactes gerados na fase de construção podem ser particularmente significativos nos locais mais próximos da via com utilização sensível ao ruído. Os usos do solo com sensibilidade ao ruído mais próximos da via situam-se a distâncias da ordem dos 5 m da via-férrea. Nestes locais, considerando a existência de atividades/operações com utilização de equipamentos mais ruidosos, os níveis sonoros previstos serão superiores a 80 dB(A).

Os valores são pontuais com duração limitada aos intervalos e períodos de execução de tarefas e operações, pelo que os valores médios de ruído serão, então, sempre inferiores. Estes valores pontuais poderão, contudo, ser sentidos pelas populações como eventual fonte de incomodidade.

Assim, as operações de construção poderão induzir impactes negativos no ruído ambiente nos locais mais próximos com utilização sensível ao ruído. Estes impactes serão mais significativos se as operações de construção ocorrerem durante o período noturno.

Consideram-se como suscetíveis de sofrer impactes negativos as zonas com usos do solo com sensibilidade ao ruído que se indicam de seguida:

- PK inicial (117+700) – PK 118+000, lado ascendente;
- PK inicial (117+700), lado descendente;
- PK 118+600 – PK 118+800, lado ascendente;
- PK 119+400 – PK 119+625, ambos os lados;
- PK 120+000 – PK 120+200, lado ascendente;
- PK 120+100 – PK 120+200, lado descendente;
- PK 121+250, lado descendente;
- PK 123+000 – PK 123+200, lado descendente;
- PK 123+800 – PK 124+700, ambos os lados.

Nestes locais recomenda-se a adoção de medidas minimizadoras de ruído na fase de construção.

## 4.2 Fase de Exploração

### 4.2.1 Ruído Ambiente

De seguida apresenta-se uma avaliação dos impactes induzidos no ambiente sonoro das zonas envolventes da Ligação Ferroviária entre Évora e Évora Norte – Variante de Évora, para o ano inicial e para o ano de pleno funcionamento da Linha férrea.

A via-férrea em estudo atravessa o concelho de Évora que ainda não procedeu ao zonamento acústico das zonas atravessadas pelo projeto. Assim, aplicam-se aos recetores os valores os valores limite de 53 dB(A) para o indicador  $L_n$  e 63 dB(A) para o indicador  $L_{den}$ .

Faz-se observar que, em termos de classificação acústica das zonas, o cenário mais desfavorável surge no período noturno relativo ao indicador  $L_n$ .

No presente estudo que incide numa infraestrutura de transporte, para avaliação de impactes na componente acústica do ambiente, foram também considerados os critérios constantes no documento “*Critérios para análise de relações exposição-impacte do ruído de infraestruturas de transporte*”, de dezembro de 2009, elaborado pela equipa do CAPS/IST para a APA. Este documento estabelece um critério de boas práticas relativo ao incremento dos níveis sonoros a partir do ruído residual. Segundo o mesmo documento, a magnitude dos impactes deve ser classificada de acordo com as diferenças entre os valores dos níveis sonoros correspondentes à “Alternativa Zero – Situação Atual” e à fase de plena exploração da via, estabelecendo:

- Incrementos de +3 a +5 dB(A): **magnitude negligenciável;**
- Incrementos de +5 a +10 dB(A): **magnitude reduzida;**
- Incrementos de +10 a +15 dB(A): **magnitude moderada;**
- Incrementos de +15 dB(A) ou superiores: **magnitude elevada.**

#### 4.2.2 Casos Particulares

- **Zona 1: PK inicial – PK 118+000**

- **Lado da via:** ambos
- **Tipo de ocupação:** casas de habitação com 1 e 2 pisos com anexos, a distâncias iguais e superiores a 5 metros à via. A maioria das casas de habitação situa-se no lado ascendente da via.
- **Ruído local:** foram registados nesta zona níveis sonoros da ordem dos 53 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e de 44 dB(A) para o indicador  $L_n$ .
- **Níveis sonoros resultantes:**

PK / Recetor / Lado	Piso	$L_{den}$ dB(A)		$L_n$ dB(A)	
		Situação Inicial	Pleno Funcionamento	Situação Inicial	Pleno Funcionamento
117+700 / R1 / ascendente	1	67	68	61	62
	2	67	68	61	62
117+775 / R2 / ascendente	1	62	63	55	57
	2	64	65	57	58
117+875 / R3 / ascendente	1	61	63	54	55
	2	61	63	55	56
117+700 / R4 / descendente	1	71	72	65	66

A figura seguinte mostra a localização dos Recetores de Referência R1, R2, R3 e R4.

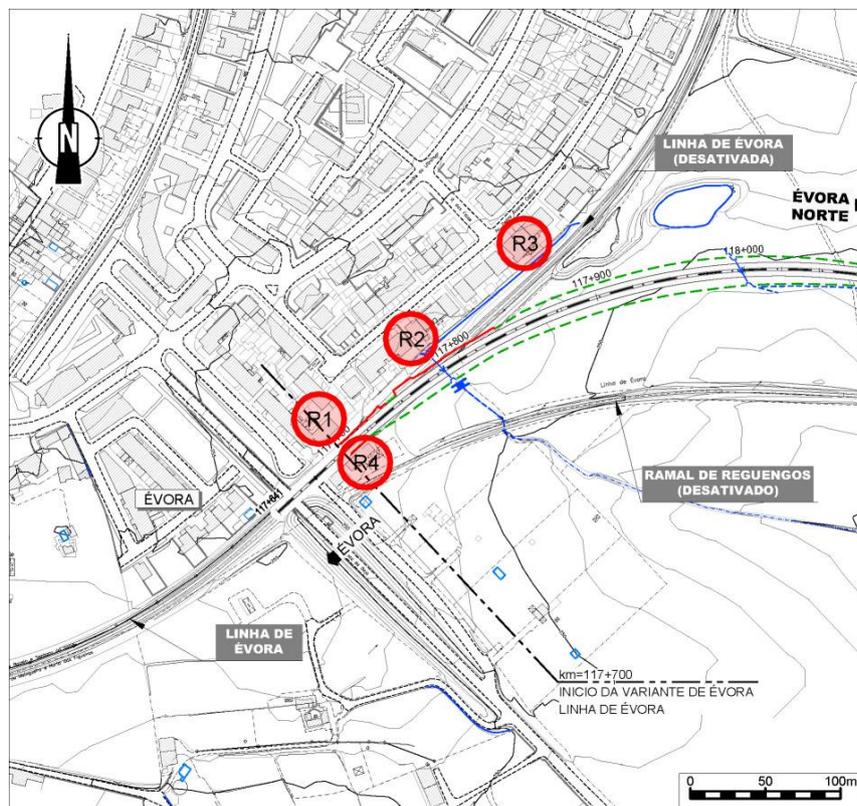


Figura AT4.1- Recetores de referência R1, R2, R3 e R4

- **Conclusões:** verificam-se acréscimos dos níveis sonoros logo a partir do ano inicial. Os valores resultantes para os indicadores de ruído  $L_{den}$  e  $L_n$  são superiores aos valores limites de 63 dB(A) e 53 dB(A) estabelecidos para zonas que ainda não foram alvo de zonamento acústico. Esta situação verifica-se logo no ano inicial, em ambos os lados da via.
  - **Impactes no Ruído Ambiente:** negativos, de extensão média e magnitude moderada a elevada, logo ano inicial.
  - **Medidas de Minimização de Ruído:** entre o PK inicial e o PK 118+000, lado ascendente, logo no início da exploração. Para o lado descendente não se recomenda a adoção de medidas, por indicações da IP – Infraestruturas de Portugal (os usos do solo são propriedade da IP e apresentam ocupação temporária).
- **Zona 2: PK 118+600 – PK 118+800**
    - **Lado da via:** ascendente
    - **Tipo de ocupação:** casas de habitação com 1 e 2 pisos com anexos, a distâncias iguais e superiores a 95 metros à via.
    - **Ruído local:** foram registados nesta zona níveis sonoros da ordem dos 44 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e de 38 dB(A) para o indicador  $L_n$ .
    - **Níveis sonoros resultantes:**

PK / Recetor / Lado	Piso	$L_{den}$ dB(A)		$L_n$ dB(A)	
		Situação Inicial	Pleno Funcionamento	Situação Inicial	Pleno Funcionamento
118+650 / R5 / ascendente	1	54	55	47	48
	2	54	55	48	49

A figura seguinte mostra a localização do Recetor de Referência R5.

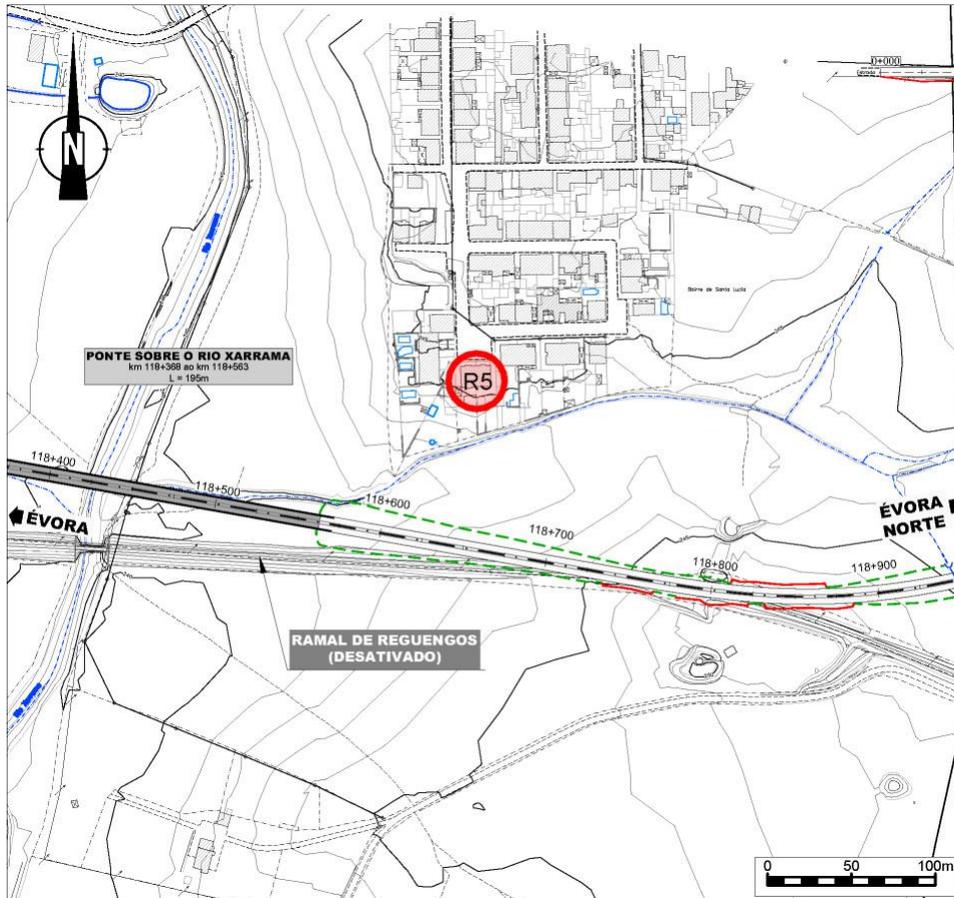


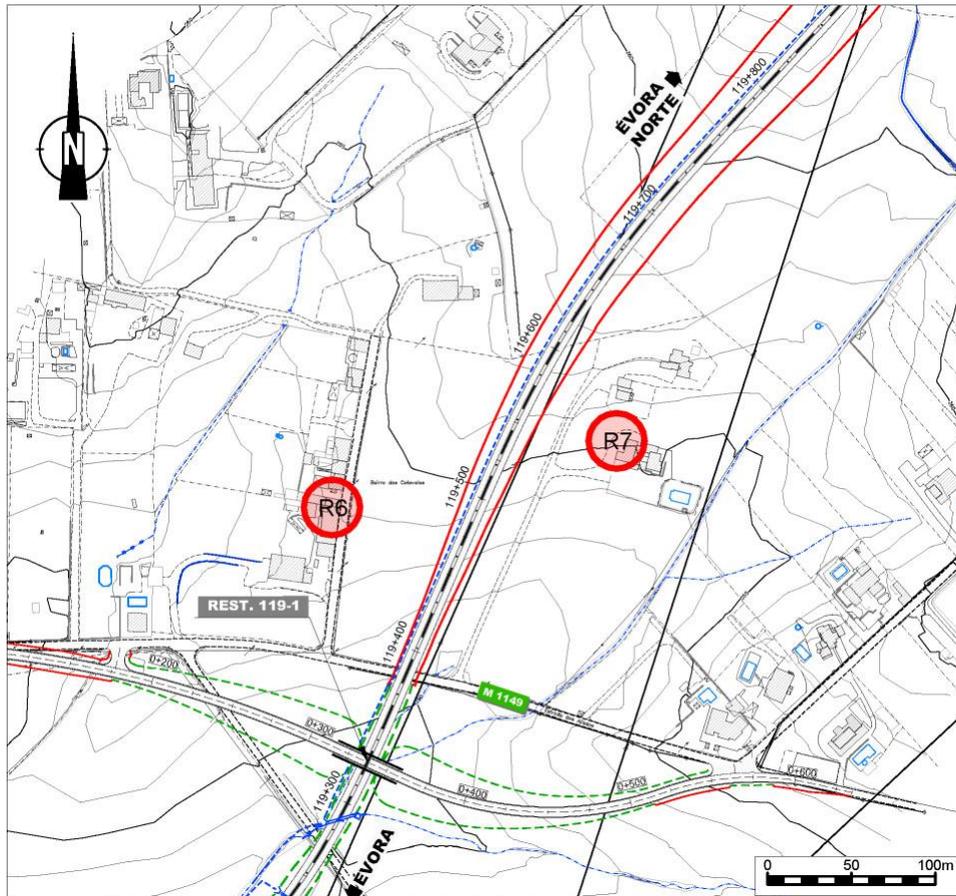
Figura AT4.2- Recetor de referência R5

- **Conclusões:** verificam-se acréscimos dos níveis sonoros logo a partir do ano inicial, no entanto, os valores resultantes para os indicadores de ruído  $L_{den}$  e  $L_n$  são inferiores aos valores limites de 63 dB(A) e 53 dB(A) estabelecidos para zonas que ainda não foram alvo de zonamento acústico. Esta situação é válida para os dois cenários em análise.
  - **Impactes no Ruído Ambiente:** negativos, de extensão pequena e magnitude reduzida.
  - **Medidas de Minimização de Ruído:** não se justifica a sua adoção.
- **Zona 3: PK 119+400 – PK 119+625**
    - **Lado da via:** ambos
    - **Tipo de ocupação:** casas de habitação com 1 e 2 pisos, com anexos e com terreno circundante, a distâncias iguais e superiores a 60 metros à via.
    - **Ruído local:** foram registados nesta zona níveis sonoros da ordem dos 46 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e de 39 dB(A) para o indicador  $L_n$ .

▪ **Níveis sonoros resultantes:**

PK / Recetor / Lado	Piso	$L_{den}$ dB(A)		$L_n$ dB(A)	
		Situação Inicial	Pleno Funcionamento	Situação Inicial	Pleno Funcionamento
119+450 / R6 / ascendente	1	55	56	49	49
119+540 / R7 / descendente	1	51	52	45	46

A figura seguinte mostra a localização dos Recetores de Referência R6 e R7.



**Figura AT4.3 - Recetores de referência R6 e R7**

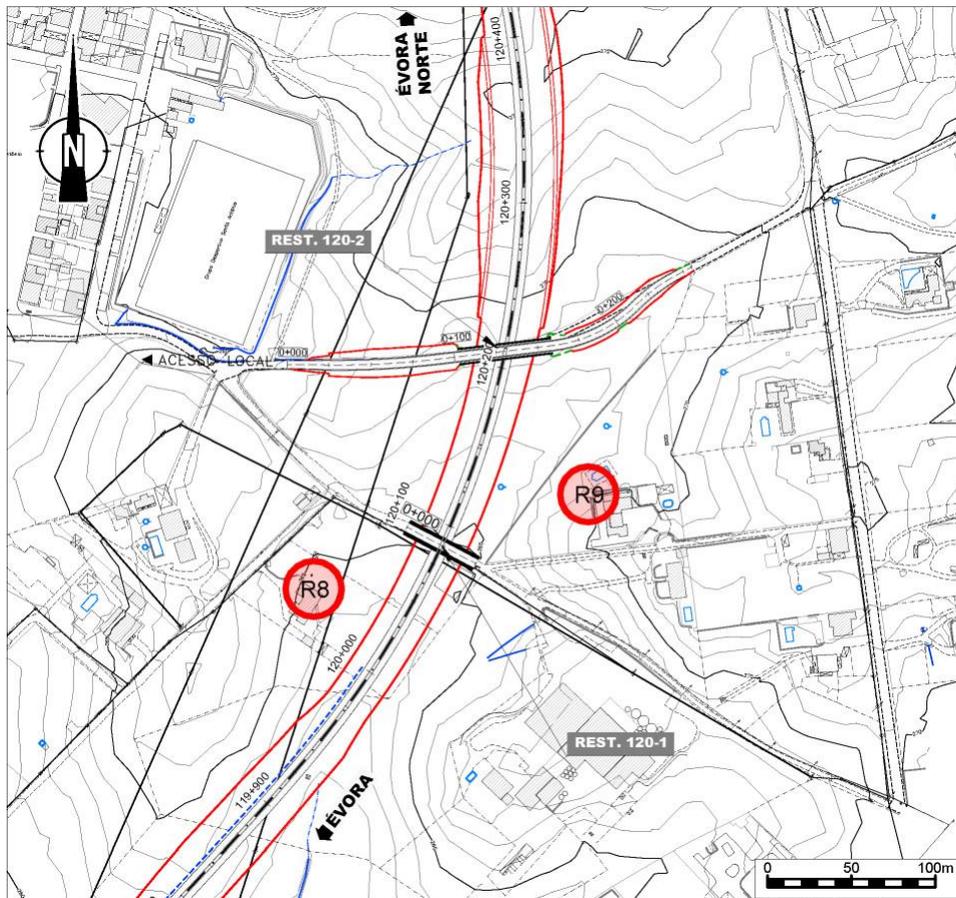
- **Conclusões:** verificam-se acréscimos dos níveis sonoros logo a partir do ano inicial, no entanto, os valores resultantes para os indicadores de ruído  $L_{den}$  e  $L_n$  são inferiores aos valores limites de 63 dB(A) e 53 dB(A) estabelecidos para zonas que ainda não foram alvo de zonamento acústico. Esta situação é válida para os dois cenários em análise.
- **Impactes no Ruído Ambiente:** negativos, de extensão pequena e magnitude reduzida.
- **Medidas de Minimização de Ruído:** não se justifica a sua adoção.

• **Zona 4: PK 120+000 - PK 120+200**

- **Lado da via:** ambos
- **Tipo de ocupação:** casas de habitação com 1 e 2 pisos, com anexos e com terreno circundante, unidades industriais, estando os usos do solo com sensibilidade ao ruído situados a distâncias iguais e superiores a 50 metros à via.
- **Ruído local:** foram registados nesta zona níveis sonoros da ordem dos 44 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e de 37 dB(A) para o indicador  $L_n$ .
- **Níveis sonoros resultantes:**

PK / Recetor / Lado	Piso	$L_{den}$ dB(A)		$L_n$ dB(A)	
		Situação Inicial	Pleno Funcionamento	Situação Inicial	Pleno Funcionamento
120+010 / R8 / ascendente	1	47	48	41	41
	2	49	49	42	43
120+125 / R9 / descendente	1	46	46	39	40
	2	47	47	40	41

A figura seguinte mostra a localização dos Recetores de Referência R8 e R9.



**Figura AT4.4 – Recetores de referência R8 e R9**

- **Conclusões:** verificam-se acréscimos dos níveis sonoros logo a partir do ano inicial. Os valores resultantes para os indicadores de ruído  $L_{den}$  e  $L_n$  são inferiores aos valores limites de 63 dB(A) e 53 dB(A) estabelecidos para zonas que ainda não foram alvo de zonamento acústico. Esta situação é válida para os dois cenários em análise.
  - **Impactes no Ruído Ambiente:** negativos, de extensão pequena e magnitude negligenciável.
  - **Medidas de Minimização de Ruído:** não se justifica a sua adoção.
- **Zona 5: PK 121+250**
    - **Lado da via:** descendente
    - **Tipo de ocupação:** quinta com casas de habitação com 1 piso, a cerca de 190 metros à via.
    - **Ruído local:** foram registados nesta zona níveis sonoros da ordem dos 47 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e de 39 dB(A) para o indicador  $L_n$ .
    - **Níveis sonoros resultantes:**

PK / Recetor / Lado	Piso	$L_{den}$ dB(A)		$L_n$ dB(A)	
		Situação Inicial	Pleno Funcionamento	Situação Inicial	Pleno Funcionamento
121+250 / R10 / descendente	1	51	51	44	45

A figura seguinte mostra a localização do Recetor de Referência R10.

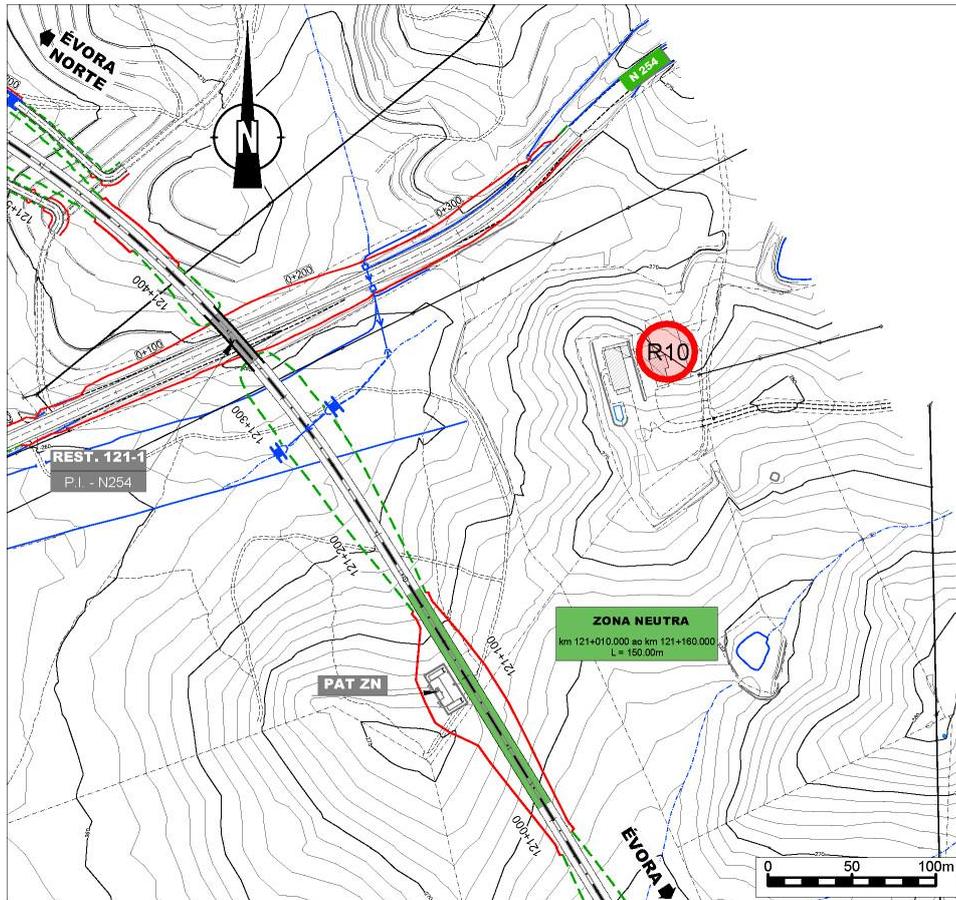


Figura AT4.5 – Recetor de referência R10

- **Conclusões:** verificam-se acréscimos dos níveis sonoros logo a partir do ano inicial. No entanto, os valores resultantes para os indicadores de ruído  $L_{den}$  e  $L_n$  são inferiores aos valores limites de 63 dB(A) e 53 dB(A) estabelecidos para zonas que ainda não foram alvo de zonamento acústico. Esta situação é válida para os dois cenários em análise.
  - **Impactes no Ruído Ambiente:** negativos, de extensão pequena e magnitude negligenciável no ano inicial e reduzida na situação de pleno funcionamento.
  - **Medidas de Minimização de Ruído:** não se justifica a sua adoção.
- **Zona 6: PK 123+000 – PK 123+200**
    - **Lado da via:** descendente
    - **Tipo de ocupação:** quinta com casas de habitação com 1 e 2 pisos, a distâncias superiores a 125 metros à via

- **Ruído local:** foram registados nesta zona níveis sonoros da ordem dos 55 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e de 48 dB(A) para o indicador  $L_n$ .
- **Níveis sonoros resultantes:**

PK / Recetor / Lado	Piso	$L_{den}$ dB(A)		$L_n$ dB(A)	
		Situação Inicial	Pleno Funcionamento	Situação Inicial	Pleno Funcionamento
123+050 / R11 / descendente	1	58	59	52	52
	2	58	59	52	52

A figura seguinte mostra a localização do Recetor de Referência R11.

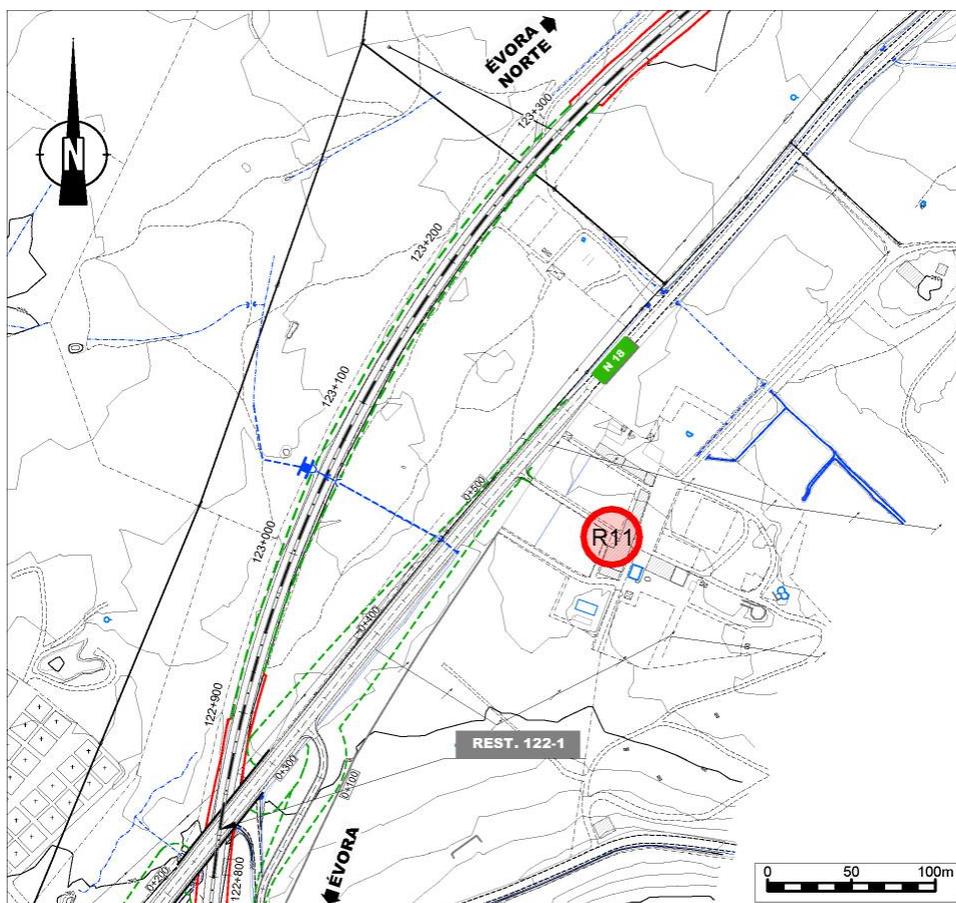


Figura AT4.6 – Recetor de referência R11

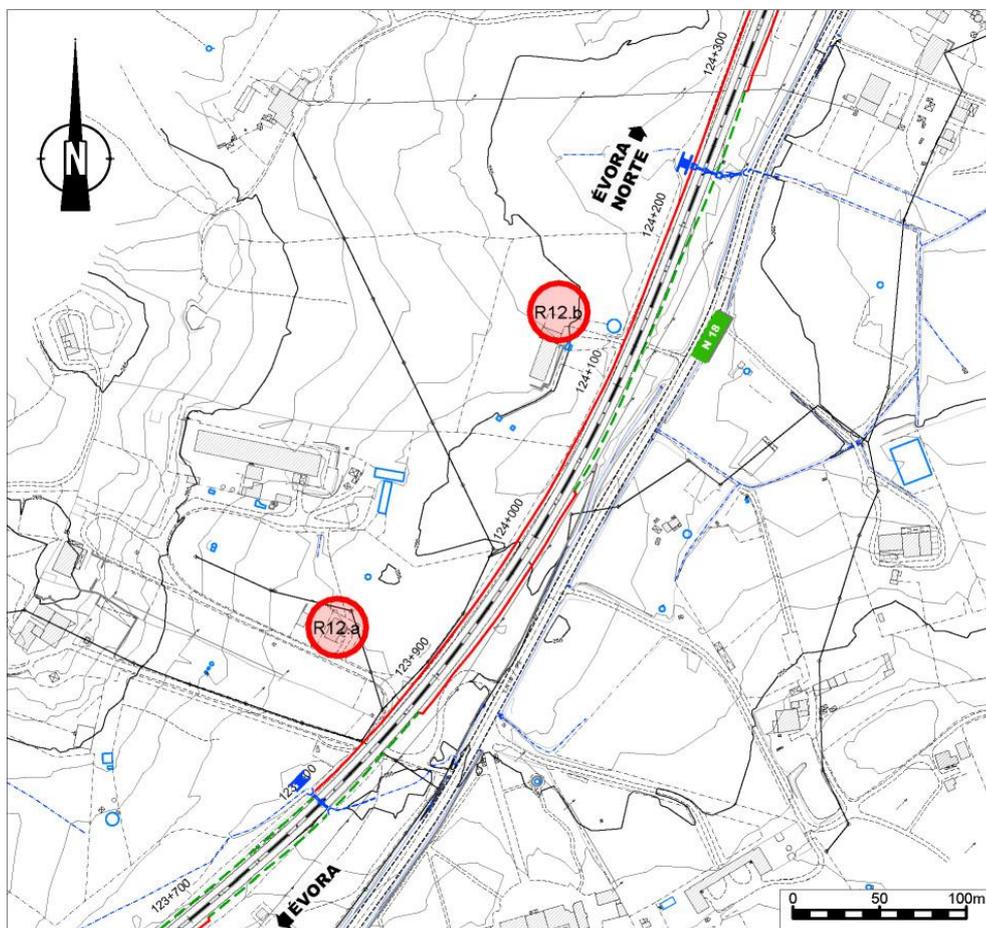
- **Conclusões:** Os valores resultantes para os indicadores de ruído  $L_{den}$  e  $L_n$  são inferiores aos valores limites de 63 dB(A) e 53 dB(A) estabelecidos para zonas que ainda não foram alvo de zonamento acústico. Esta situação é válida para os dois cenários em análise.
- **Impactes no Ruído Ambiente:** negativos, de extensão pequena e magnitude negligenciável.
- **Medidas de Minimização de Ruído:** não se justifica a sua adoção.

• **Zona 7: PK 123+800 – PK 124+700**

- **Lado da via:** ambos
- **Tipo de ocupação:** casas de habitação com 1 e 2 pisos, restaurante, anexos agrícolas e pecuários. As casas mais próximas da via situam-se no lado descendente, a distâncias da ordem dos 10 metros à via.
- **Ruído local:** foram registados nesta zona níveis sonoros da ordem dos 62 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e de 53 dB(A) para o indicador  $L_n$ .
- **Níveis sonoros resultantes:**

PK / Recetor / Lado	Piso	$L_{den}$ dB(A)		$L_n$ dB(A)	
		Situação Inicial	Pleno Funcionamento	Situação Inicial	Pleno Funcionamento
123+900 / R12a / ascendente	1	62	62	55	56
124+100 / R12b / ascendente	1	66	66	58	58
124+400 / R13 / descendente	1	71	72	64	65
124+600 / R14 / descendente	1	63	63	55	56
	2	63	63	55	56

As figuras seguintes mostram a localização dos Recetores de Referência R12a e R12b e dos Recetores de Referência R13 e R14.



**Figura AT4.7– Recetores de referência R12a e R12b**

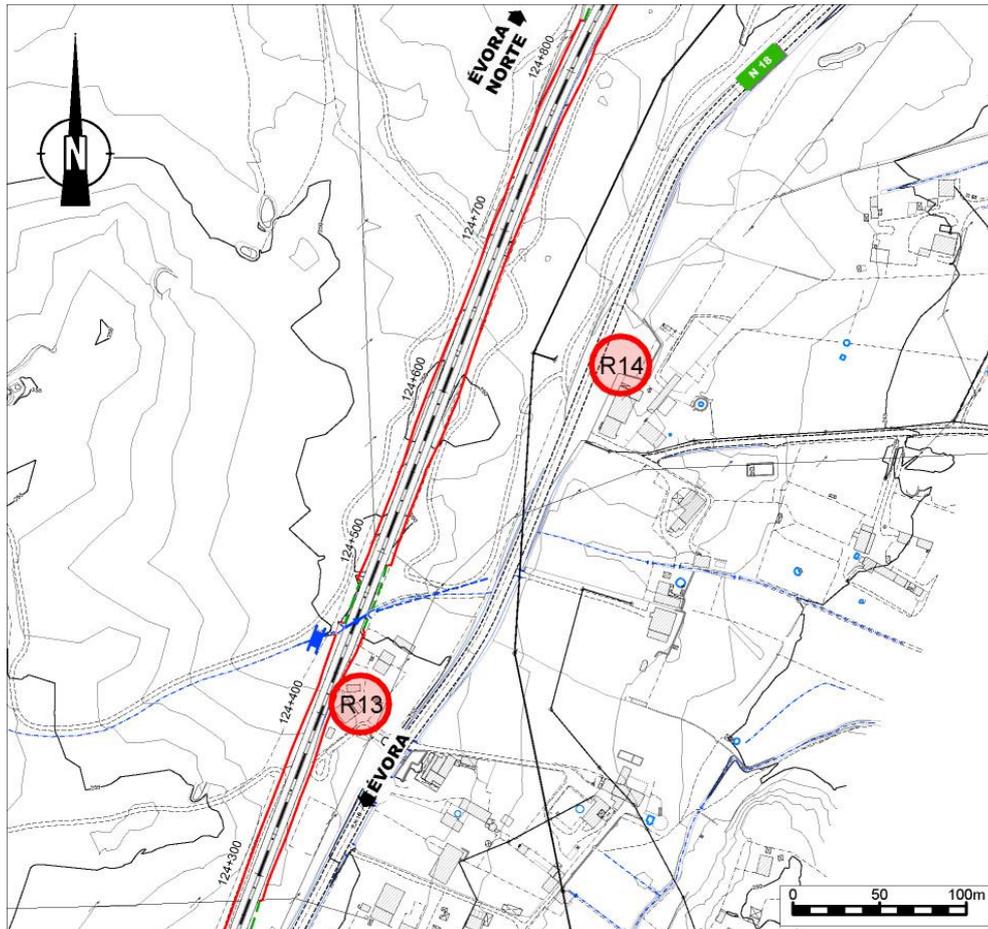


Figura AT4.8 – Recetores de referência R13 e R14

- **Conclusões:** verificam-se acréscimos dos níveis sonoros logo a partir do ano inicial.

Os valores resultantes para o indicador de ruído  $L_n$  são superiores aos valores limites de 53 dB(A) estabelecido para zonas que ainda não foram alvo de zonamento acústico, logo no ano inicial e para ambos os lados da via.

Os valores resultantes para o indicador de ruído  $L_{den}$  são da ordem de grandeza do valor limite de 63 dB(A) no lado descendente da via e superiores a este valor, no lado ascendente da via, logo no ano inicial

- **Impactes no Ruído Ambiente:** negativos, de extensão média e magnitude elevada em alguns locais.
- **Medidas de Minimização de Ruído:** ao PK 123+800 e PK124+100, lado ascendente, logo no ano inicial e entre o PK 124+400 e o PK 124+600, lado descendente logo no ano inicial.

## 5 MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO DE RUÍDO

### 5.1 Considerações Gerais

Em todas as utilizações já existentes ou previstas onde se prevejam impactes negativos significativos, deverá ser considerada a aplicação de medidas de minimização do ruído recebido de forma a criar proteção adequada.

As medidas minimizadoras entendem-se como ações a realizar por parte da entidade responsável pela obra, tendentes a evitar ou minimizar reações por parte das populações ou utilizações já existentes no local em face do acréscimo de ruído introduzido pelo projeto, e aos resultantes impactes, quer ainda para corrigir ou reificar situações de poluição sonora existentes.

Para cada situação particular observada ao longo do traçado e que requeira proteção será indicado, seguidamente, o tipo de soluções que se preconiza como o mais indicado, bem como os estudos que se revelem necessários.

### 5.2 Fase de Construção

Recomenda-se que as operações de construção, sobretudo as mais ruidosas, tenham lugar apenas no período diurno, conforme legislação em vigor.

As atividades ruidosas só poderão ter lugar para além daquele intervalo de tempo, nomeadamente no período noturno, sábados, domingos e feriados, mediante licença especial de ruído a conceder, em casos devidamente justificados, pelas Câmaras Municipais abrangidas pelo projeto, conforme estabelecido no artigo 15.º do Decreto - Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro de 2007.

Os estaleiros deverão ser implantados em zonas menos ocupadas e o mais afastado possível dos locais com utilização sensível ao ruído, nomeadamente dos locais com casas de habitação.

Para além das medidas referidas anteriormente deverão ser tomadas as seguintes medidas complementares:

- **Informação às populações** - os habitantes e os utilizadores de instalações situadas dentro de uma faixa de proximidade ao limite do traçado da via, de cerca de 200 m, deverão ser informados sobre a ocorrência das operações de construção. A informação deverá incluir a hora de início das obras, o seu regime de funcionamento e a sua duração. Em particular, deverá especificar as operações mais ruidosas bem como o início e o final previsto. Deverá, ainda, incluir informação sobre o projeto e os seus objetivos.

- **Limitações temporais nas operações** - As operações de construção, em especial as mais ruidosas, que se desenrolem na proximidade (que pode ser entendida como até 200 m de distância) de casas de habitação, escolas, igrejas e hospitais deverão, tanto quanto possível, ter lugar, apenas na vigência do período diurno, conforme legislação em vigor.

As atividades ruidosas só poderão ter lugar para além daquele intervalo de tempo, nomeadamente no período noturno, sábados, domingos e feriados, mediante licença especial de ruído a conceder, em casos devidamente justificados, pela Câmara Municipal de Évora, conforme estabelecido na legislação em vigor.

### 5.3 Fase de Exploração

Da análise de impactes agora efetuada conclui-se da necessidade:

- **De implantação de medidas minimizadoras de ruído nas seguintes zonas (Barreiras Acústicas):**
  - PK inicial – PK 118+000, lado ascendente - ano inicial;
  - PK 123+900 – PK 124+100, lado ascendente – ano inicial;
  - PK 124+400 – PK 124+600, lado descendente – ano inicial.
- **Adoção de um Programa de Monitorização de Ruído nas seguintes zonas:**
  - PK inicial – PK 118+000, lado ascendente;
  - PK 123+900 – PK 124+100, lado ascendente;
  - PK 124+400 – PK 124+600, lado descendente.

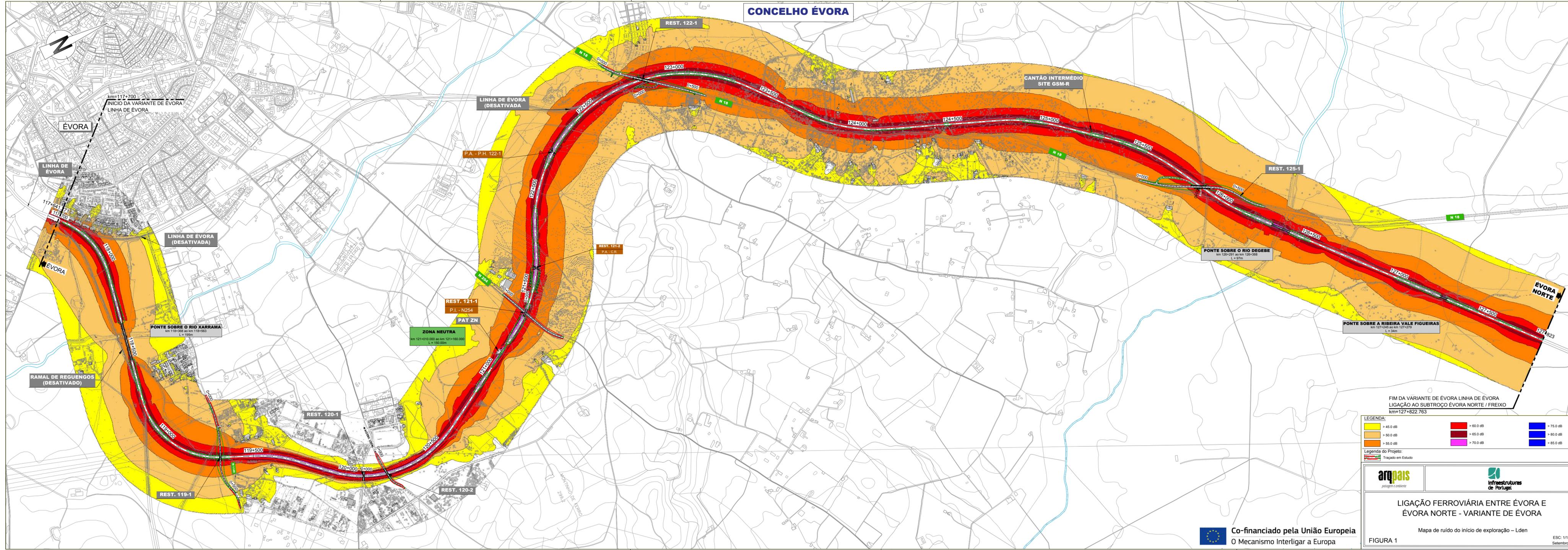
Com a adoção das medidas de minimização de ruído propostas, consideram-se, cumpridos os critérios legais em vigor.

## 6 MAPAS DE RUÍDO

- **Figura 1 - Mapa de ruído do início de exploração – Lden**
- **Figura 2 - Mapa de ruído do início de exploração – Ln**
- **Figura 3 - Mapa de ruído da fase de pleno funcionamento – Lden**
- **Figura 4 - Mapa de ruído da fase de pleno funcionamento – Ln**



CONCELHO ÉVORA



FIM DA VARIANTE DE ÉVORA LINHA DE ÉVORA  
 LIGAÇÃO AO SUBTRÓÇCO ÉVORA NORTE / FREIXO  
 km=127+822.763

LEGENDA:

	> 45.0 dB		> 60.0 dB		> 75.0 dB
	> 50.0 dB		> 65.0 dB		> 80.0 dB
	> 55.0 dB		> 70.0 dB		> 85.0 dB

Legenda do Projeto:  
 Traçado em Estudo

**arqpais**  
 paisagem e ambiente

**Infraestruturas de Portugal**

LIGAÇÃO FERROVIÁRIA ENTRE ÉVORA E ÉVORA NORTE - VARIANTE DE ÉVORA

Mapa de ruído do início de exploração - Lden

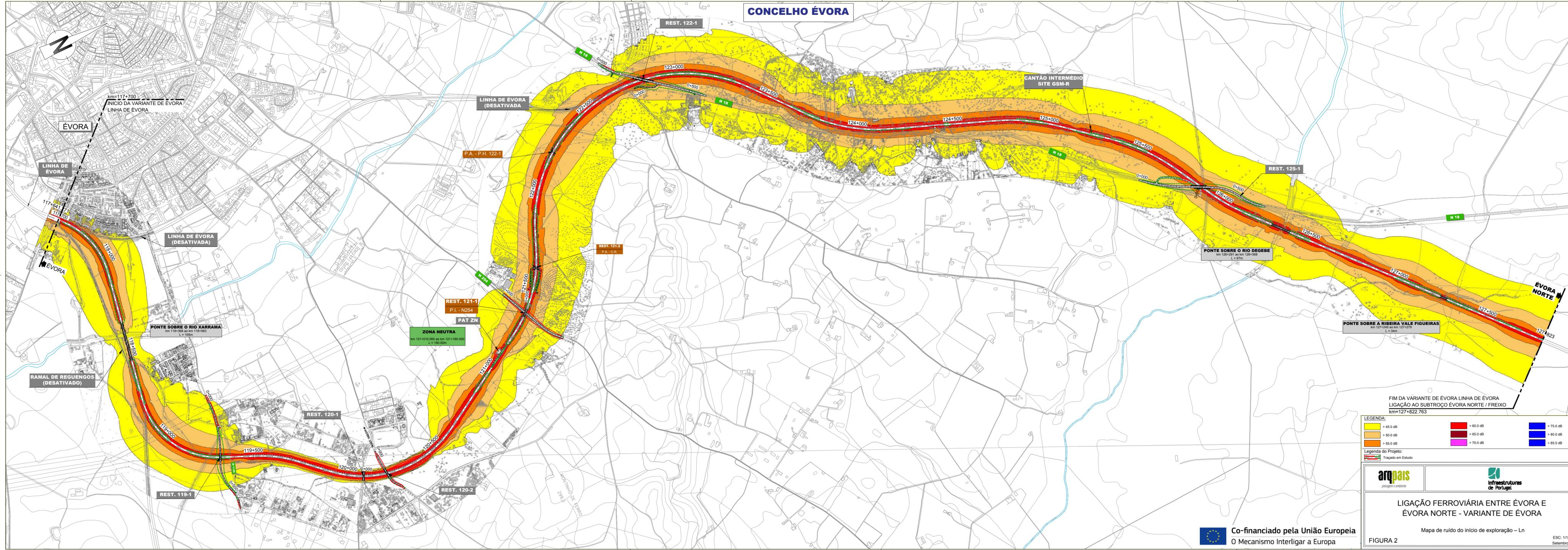
FIGURA 1

ESC: 1/10 000  
 Setembro 2019

Co-financiado pela União Europeia  
 O Mecanismo Interligar a Europa

841 mm x 297 mm

CONCELHO ÉVORA



FIM DA VARIANTE DE ÉVORA LINHA DE ÉVORA  
 LIGAÇÃO AO SUBTRÓÇCO ÉVORA NORTE / FREIXO  
 km=127+822.763

LEGENDA:

<span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> > 45.0 dB	<span style="background-color: red; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> > 60.0 dB	<span style="background-color: blue; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> > 75.0 dB
<span style="background-color: orange; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> > 50.0 dB	<span style="background-color: darkred; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> > 65.0 dB	<span style="background-color: darkblue; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> > 80.0 dB
<span style="background-color: lightorange; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> > 55.0 dB	<span style="background-color: magenta; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> > 70.0 dB	<span style="background-color: navy; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> > 85.0 dB

Legenda do Projeto:  
— Traçado em Estudo

**arqpais**  
passagem e ambiente

**Infraestruturas de Portugal**

**LIGAÇÃO FERROVIÁRIA ENTRE ÉVORA E ÉVORA NORTE - VARIANTE DE ÉVORA**

Mapa de ruído do início de exploração - Ln

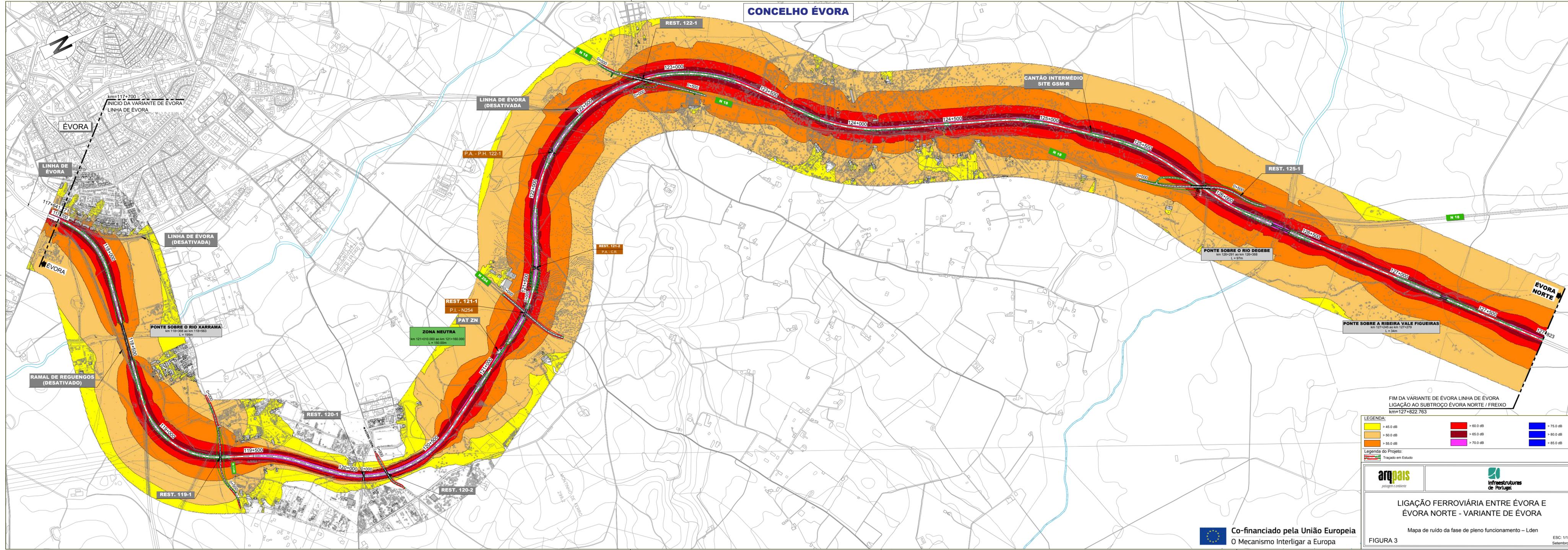
FIGURA 2

ESC: 1/10 000  
Setembro 2019

Co-financiado pela União Europeia  
 O Mecanismo Interligar a Europa

841 mm x 297 mm

CONCELHO ÉVORA



FIM DA VARIANTE DE ÉVORA LINHA DE ÉVORA  
LIGAÇÃO AO SUBTROCÇO ÉVORA NORTE / FREIXO  
km=127+822.763

LEGENDA:	
<span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span>	> 45.0 dB
<span style="background-color: orange; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span>	> 50.0 dB
<span style="background-color: red; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span>	> 55.0 dB
<span style="background-color: darkred; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span>	> 60.0 dB
<span style="background-color: magenta; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span>	> 65.0 dB
<span style="background-color: blue; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span>	> 70.0 dB
<span style="background-color: darkblue; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span>	> 75.0 dB
<span style="background-color: navy; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span>	> 80.0 dB
<span style="background-color: black; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span>	> 85.0 dB

Legenda do Projeto:  
— Traçado em Estudo



arqpais  
passagem e ambiente



Infraestruturas  
de Portugal

**LIGAÇÃO FERROVIÁRIA ENTRE ÉVORA E ÉVORA NORTE - VARIANTE DE ÉVORA**

Mapa de ruído da fase de pleno funcionamento – Lden

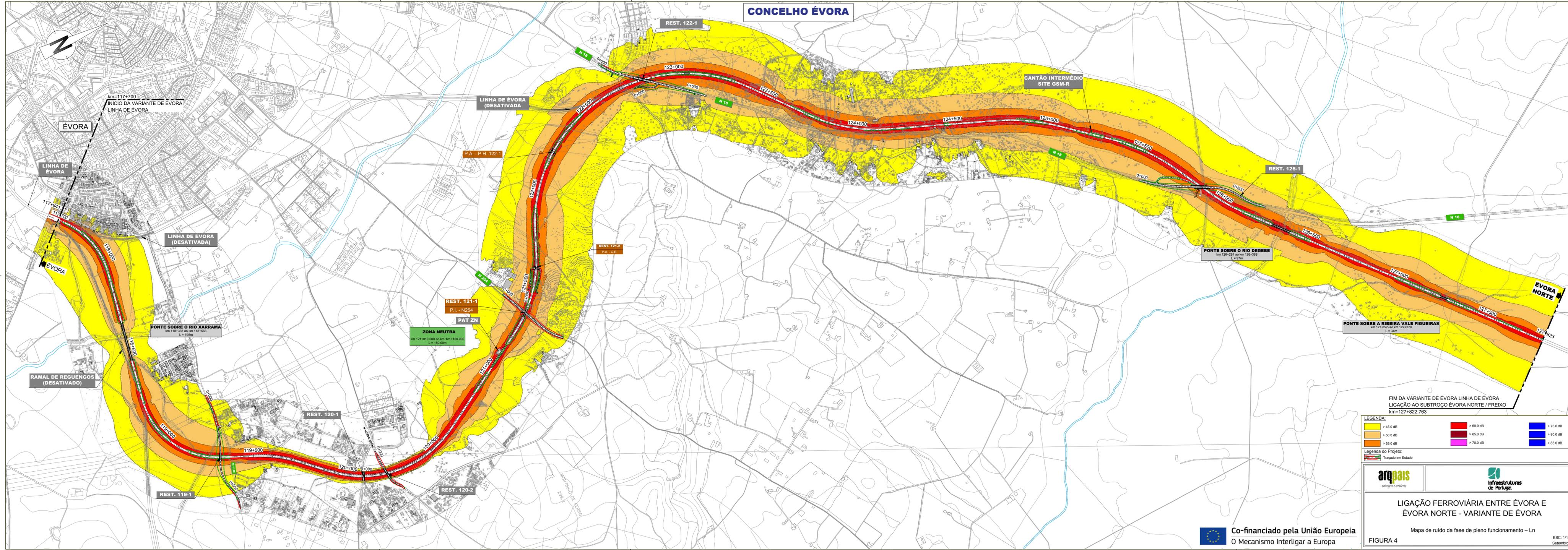
FIGURA 3

ESC: 1/10 000  
Setembro 2019

 **Co-financiado pela União Europeia**  
O Mecanismo Interligar a Europa

841 mm x 297 mm

# CONCELHO ÉVORA



FIM DA VARIANTE DE ÉVORA LINHA DE ÉVORA  
LIGAÇÃO AO SUBTROCÇO ÉVORA NORTE / FREIXO  
km=127+822.763

LEGENDA:

	> 45.0 dB		> 60.0 dB		> 75.0 dB
	> 50.0 dB		> 65.0 dB		> 80.0 dB
	> 55.0 dB		> 70.0 dB		> 85.0 dB

Legenda do Projeto:  
 Traçado em Estudo

**arqpais**  
passagem e ambiente

**Infraestruturas de Portugal**

LIGAÇÃO FERROVIÁRIA ENTRE ÉVORA E ÉVORA NORTE - VARIANTE DE ÉVORA

Mapa de ruído da fase de pleno funcionamento – Ln

FIGURA 4

ESC: 1/10 000  
Setembro 2019

Co-financiado pela União Europeia  
O Mecanismo Interligar a Europa

841 mm x 297 mm



## **ANEXO 4.2 – Estudo de Vibrações**



## 1 CARACTERIZAÇÃO VIBRATÓRIA DE REFERÊNCIA

### 1.1 Introdução

A circulação ferroviária pode ter como consequência a geração e propagação de vibrações que podem vir a ter efeitos nas estruturas e no conforto e qualidade de vida dos habitantes da envolvente próxima. Desta forma torna-se relevante caracterizar e avaliar os impactes destas vibrações no sentido de ser possível apontar as medidas tidas como adequadas à minimização dos impactes identificados.

As vibrações que ocorrem em edifícios podem agrupar-se em dois tipos: impulsivas, e continuadas.

Designam-se por vibrações impulsivas aquelas que resultam de uma solicitação de curta duração e se prolongam para além dela: vibrações originadas por explosões, pelo trabalho de bate-estacas, prensas de impacto, etc. As vibrações continuadas serão, complementarmente, as que resultam de uma solicitação com duração significativa e coexistem com ela. (LNEC, 2010)

Usualmente a medição deste tipo de vibrações é realizada com o intuito de aferir a incomodidade para os habitantes e a origem de danos nas estruturas.

### 1.2 Procedimentos Experimentais

As visitas técnicas e as medições realizadas junto dos locais com ocupação sensível ao ruído situados na envolvente da Ligação ferroviária ente Évora e Évora Norte permitiram concluir que: (i) a maioria dos locais encontram-se afastados de fontes vibratórias e (ii) um número muito reduzido de locais situam-se na proximidade de vias rodoviárias com tráfego rodoviário reduzido e da via-férrea existente mas inativa.

Logo desde a fase de Estudo Prévio foram selecionados locais para efetuar a caracterização da existência de sinais de vibração nas zonas de influência do troço ferroviário entre Évora e Évora Norte, eventualmente responsáveis por mecanismos de transmissão de ruído e, como tal, de influência no ambiente sonoro, teve como principais critérios de seleção:

- (1<sup>o</sup>) - a contabilização das fontes vibratórias existentes na envolvente do projeto ferroviário, nomeadamente, o tráfego rodoviário nas vias rodoviárias existentes;
- (2<sup>o</sup>) - a contabilização da não existência de fontes vibratórias, na proximidade de usos do solo sensíveis existentes na envolvente do projeto ferroviário em análise.

O equipamento de medição e análise utilizado nas medições de vibração constou de um acelerómetro do tipo industrial de alta sensibilidade para as medições de níveis de vibração.

O acelerómetro utilizado foi devidamente fixo ao solo por meio de estacas de material ferroso e com uma base magnética própria.

O equipamento de medição de vibrações foi instalado na proximidade de usos do solo sensíveis existentes na envolvente do traçado.

Foram efetuadas medições de vibração em dois locais, tendo sido efetuados registos espectrais, em bandas de terços de oitava, nas frequências compreendidas entre 1 Hz e 80 Hz, conforme recomendado pela Norma NP ISO 2631 em termos de avaliação de incomodidade e no seguimento do solicitado na DIA (Elementos a Apresentar em RECAPE n.º 13).

### 1.2.1 Medições de Vibrações

Seguidamente apresenta-se a descrição e a localização dos locais de avaliação de vibrações selecionados na envolvente do troço ferroviário em estudo:

- **Local V1**, ao km inicial, no lado ascendente da via, na proximidade de casas de habitação com anexos, a 10 m aproximadamente do eixo da via;
- **Local V3**, cerca do km 124+600, no lado descendente da via, na proximidade de casas de habitação e de um restaurante, a cerca de 95 m aproximadamente do eixo da via.

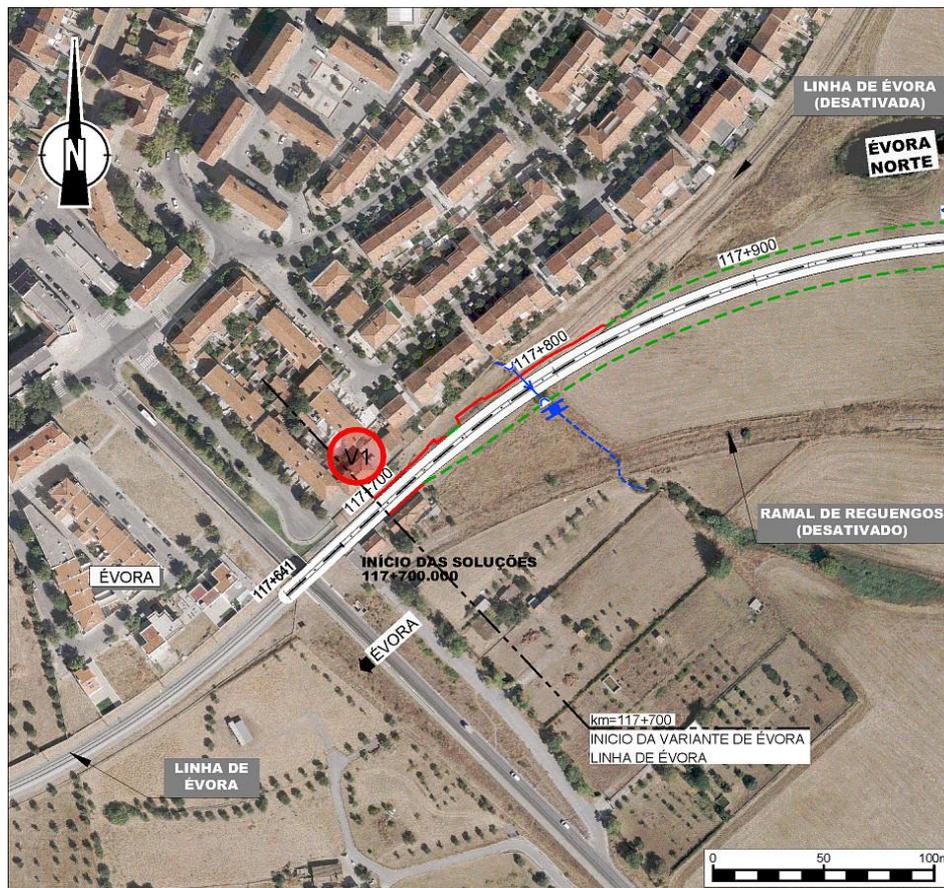
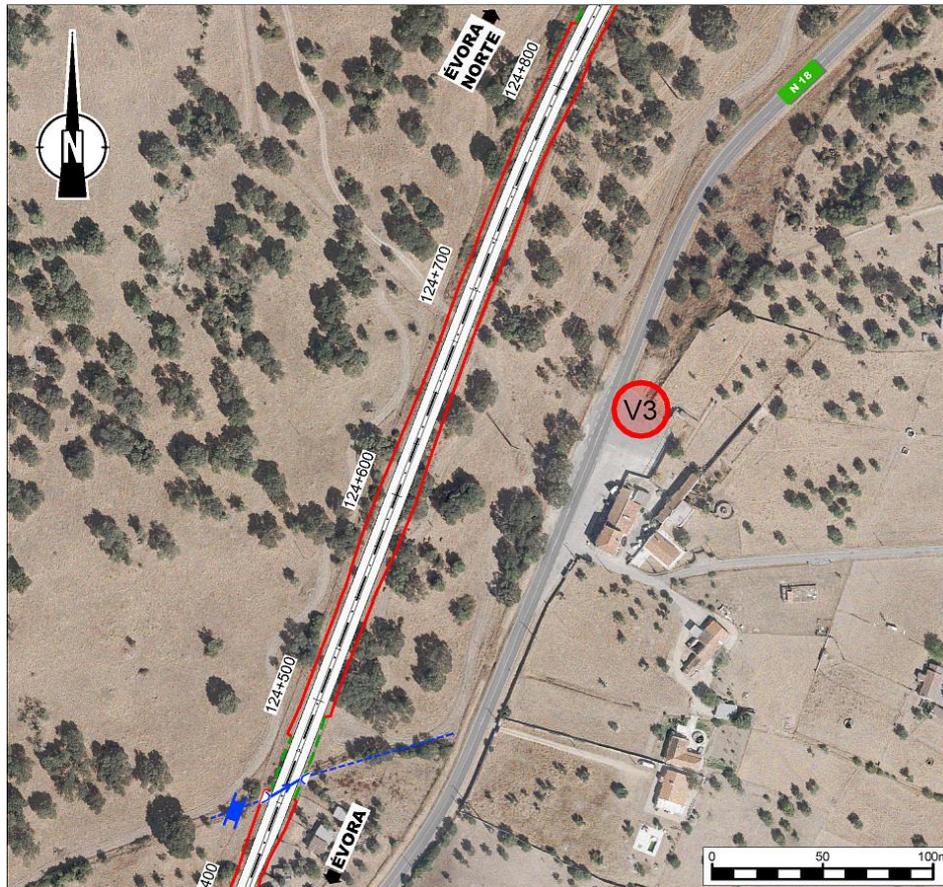


Figura AT4.9- Local de avaliação de vibrações



**Figura AT4.10-** Local de avaliação de vibrações

Apresentam-se nos gráficos das figuras seguintes os espectros de vibrações medidos nos dois locais referidos anteriormente.

Na parte superior dos gráficos encontra-se o espectro de vibrações e na parte inferior a história temporal do sinal.

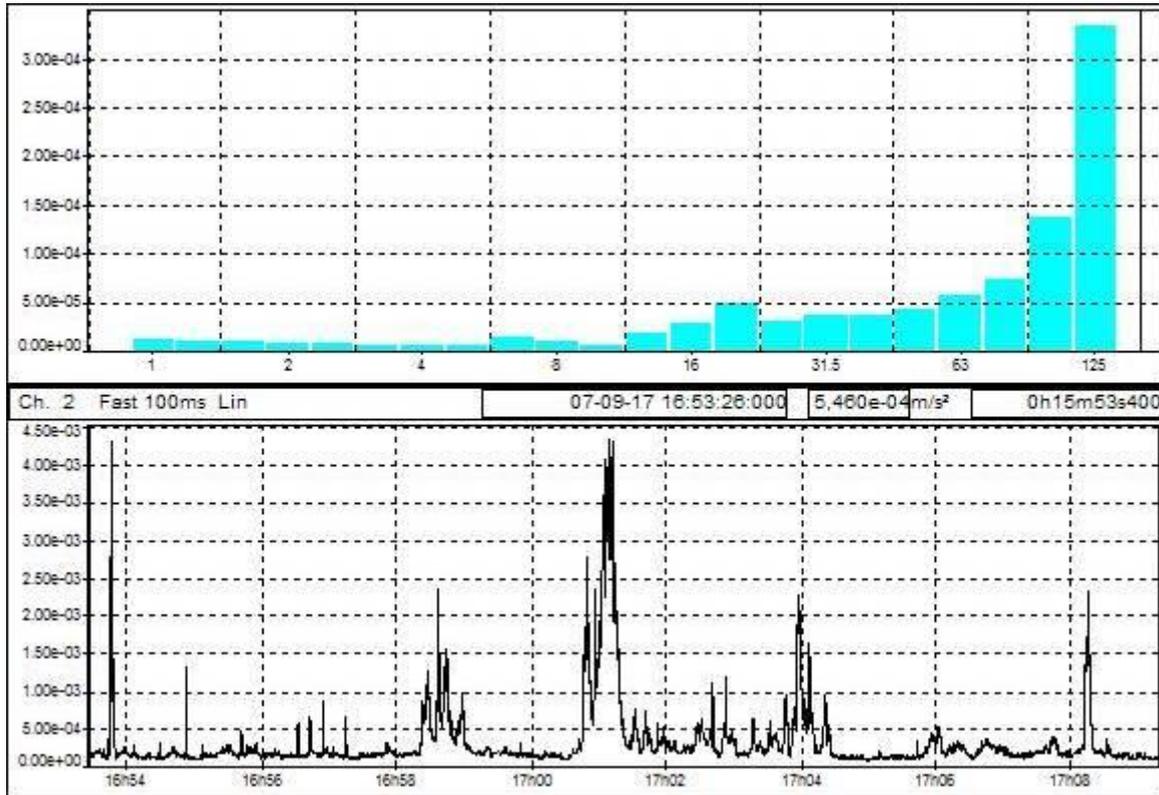


Figura AT4.11 - Espectro de Vibrações e história temporal do sinal obtido no local V1, a cerca do km inicial, no lado ascendente da via

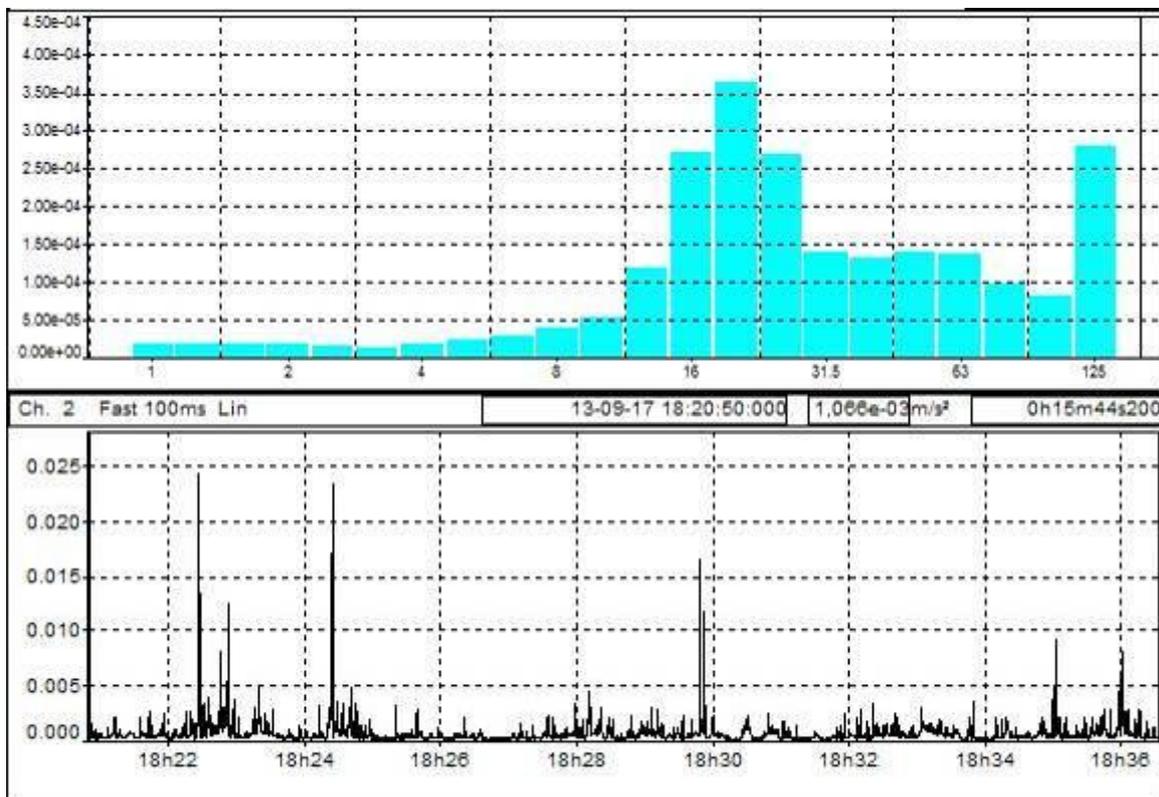


Figura AT4.12 - Espectro de Vibrações e história temporal do sinal obtido no local V3, a cerca do km 124+600, no lado descendente da via

### 1.3 Análise dos Resultados

A análise dos gráficos obtidos nos locais selecionados revela que os valores das vibrações registadas são baixos, com as componentes espectrais a apresentarem valores sempre inferiores a  $0,01 \text{ m/s}^2$ . Esta conclusão é válida para todos locais com usos sensíveis afastados ou não de fontes vibratórias.

Nesta fase de caracterização, e no meio em que se insere o projeto, não estamos perante estímulos de relevo para além dos com origem na circulação rodoviária. Acresce mencionar que, tendo em conta a curta extensão do troço em estudo e a relativa homogeneidade das características geológicas (formações regra geral, com um grau de alteração entre decomposto a medianamente alterado, conforme **Volume 2 – Geologia e Geotecnia**), considera-se que a caracterização efetuada é suficiente para possibilitar o desenvolvimento da análise de impactes e conseqüente proposta de medidas eficazes.

Desta forma, considera-se que os resultados apresentados são suficientes para caracterizar a área de desenvolvimento do projeto, na situação do ambiente atual, ou seja, sem funcionamento da via-férrea.

## 2 ANÁLISE DE IMPACTES

### 2.1 Considerações gerais

Não existe atualmente legislação que limite os valores máximos de vibração a que podem estar sujeitas populações e edifícios. Apenas existe legislação que estabelece os limites de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos a vibrações (Decreto-Lei n.º 46/2006, de 24 de fevereiro que transpõem para o Direito Interno a Diretiva Europeia 2002/44/CE, de 25 de junho de 2002).

Relativamente às normas em vigor, existe a NP 2074:2015, para avaliação da influência de vibrações impulsivas em estruturas.

Esta norma estabelece valores limite da velocidade máxima de vibração de acordo com o tipo de estrutura e a frequência dominante conforme apresentado no quadro seguinte.

**Quadro AT4.5 - Valores limite recomendados para a velocidade de vibração (de pico), em mm/s**

Tipo de estruturas	Frequência dominante		
	$f \leq 10$ Hz	$10 < f \leq 40$ Hz	$f > 40$ Hz
Sensíveis	1,5	3,0	6,0
Correntes	3,0	6,0	12,0
Reforçadas	6,0	12,0	40,0

Para vibrações continuadas e uma vez que não existem Normas Portuguesas aplicáveis à avaliação de eventual incomodidade, é prática corrente adotar os critérios do LNEC que recomenda os seguintes valores:

**Quadro AT4.6 - Incomodidade: Valores Limite da Velocidade Eficaz da Vibração, no Local**

Velocidade (mm/s)	Sensação
$V_{ef} < 0,11$ mm/s	Nula
$0,11$ mm/s $< V_{ef} < 0,28$ mm/s	Perceptível, suportável para pequena duração
$0,28$ mm/s $< V_{ef} < 1,1$ mm/s	Nítida, incómoda, podendo afetar as condições de trabalho
$V_{ef} > 1,1$ mm/s	Muito nítida, muito incómoda, reduzindo as condições de trabalho

Quanto a danos nas edificações correntes (excluindo monumentos e edifícios sensíveis), o LNEC tem utilizado o seguinte critério:

**Quadro AT4.7 - Danos: Valores Limite da Velocidade Eficaz da Vibração, no Local**

Velocidade (mm/s)	Efeitos
$V_{ef} < 3,5$	Praticamente nulos
$3,5 < V_{ef} < 7$	Possibilidade de danos cosméticos em edifícios antigos
$7 < V_{ef} < 21$	Fendilhação ligeira dos revestimentos
$21 < V_{ef} < 42$	Fendilhação acentuada nos revestimentos e alvenarias
$V_{ef} > 42$	Danos consideráveis; possível fendilhação da estrutura de betão armado

A velocidade eficaz deverá ser o maior valor entre as velocidades vertical e horizontal.

As ondas vibráticas propagadas através do solo ao atingirem um edifício originam ruído para o interior do mesmo através da vibração das paredes, que se constituem como radiadores secundários. O LNEC tem utilizado o seguinte critério, que assegurará geralmente a não emissão pelo elemento vibrante, piso, teto ou parede, de ruído superior a 40 dB(A): o valor eficaz da componente da vibração perpendicular ao elemento vibrante acima dos 63 Hz, e nas bandas audíveis não deverá ultrapassar os 0,03 mm/s.

A Norma Britânica BS5228 indica o limiar de perceção humana cerca de 0,15 mm/s, contudo é aceite que para a maioria da população os níveis de vibração em excesso ocorrem entre 0,15mm/s e 0,30 mm/s.

É este o critério a ser respeitado, de forma a garantir que não existem impactes originados pela transmissão sonora por via estrutural.

Denote-se que na envolvente próxima do projeto não são identificados edifícios com sensibilidade acrescida (Categoria I), referindo-se apenas Residências e edifícios destinados a dormida/descanso (Categoria II) de acordo com a FRA.

## 2.2 Fase de Construção

Na fase de construção, poderão ser sentidas perturbações provenientes de vibrações originadas pelo funcionamento de equipamentos e máquinas afetos às atividades construtivas.

As velocidades de vibração previstas nos pontos recetores são função do tipo de equipamento em funcionamento e da distância entre a fonte vibratória e recetor sensível.

O Quadro seguinte mostra a ordem de grandeza espectável dos valores de pico da velocidade de vibração, originados por maquinaria tipicamente utilizada em atividades de construção civil<sup>1</sup>, a uma distância de referência de 7,5 m do ponto de operação.

**Quadro AT4.8 - Velocidade de vibração de equipamentos característicos em obras de construção civil de via férrea**

Equipamento		Pico de Velocidade de Vibração a 7,5 m [mm/s]
Bate Estacas (impacto)	Máximo	38,56
	Típico	16,36
Bate Estacas (sónico)	Máximo	18,64
	Típico	4,32
Perfuradora a água	No solo	0,20
	Em rocha	0,43
Rolo Compressor		5,33
Retroescavadora (martelo pneumático)		2,26
Bulldozer grande		2,26
Retroescavadora (broca)		2,26
Camiões carregados		1,93
Martelo Pneumático		0,89
Bulldozer pequeno		0,08

<sup>1</sup> Os valores do Quadro foram obtidos a partir de dados da FTA, *Federal Transit Administration (2006)*. "Transit Noise and Vibration Impact Assessment", *Estados Unidos da América*

De referir que os valores médios (como os valores rms) das velocidades de vibração são tipicamente bastante inferiores (1,7 a 6 vezes abaixo) ao seu valor de pico, expresso no quadro anterior.

É expectável que, pelo menos pontualmente, os valores da velocidade de vibração nos edifícios mais próximos às atividades construtivas sejam perceptíveis de acordo com os limites de perceção humana estabelecidos nos critérios seguidos pelo LNEC.

O desmonte por meios mecânicos e, em especial os com recurso a explosivos são as operações eventualmente indutoras de maior incomodidade relativa às vibrações.

Conforme explicito no **Volume 5 – Tomo 5.1 – Terraplenagens e Drenagem**, em termos gerais, prevê-se que a generalidade das formações metamórficas, sedimentares e intrusivas seja escavada com recurso a meios mecânicos, associados aos terrenos de cobertura de natureza residual e maciço rochoso muito alterado e fraturado. Em áreas de maior relevo, onde as cotas de trabalho são agravadas, podem vir a ser interessados núcleos rochosos com necessidade de desmonte a explosivos, associados a formações de natureza metamórfica e intrusiva.

Refira-se que a principal escavação ocorre desde o km 119+400 ao km 120+800. Em síntese, de acordo com os dados disponíveis, o desmonte do maciço rochoso será efetuado, maioritariamente, com meios mecânicos (ligeiros e “ripper”) nas escavações de menor altura ( $h < 5-8$  m) e com explosivos nas escavações de maior altura ( $h > 8-12$  m).

Desta forma, considera-se que os impactes nas habitações na envolvente deste troço onde se desenvolverão as maiores escavações e o eventual recurso a explosivos poderão ser **negativos, de moderada magnitude, temporários, reversíveis e significativos, contudo minimizáveis**.

É portanto, em especial na envolvente desta zona, sem prejuízo das demais áreas em que se verifique adequado, que caberá ao empreiteiro na fase de obra fazer a devida monitorização do edificado ao abrigo da Norma NP 2074/2015 e no cumprimento do Despacho 19GDN2017 da Policia de Segurança Pública.

## 2.3 Fase de Exploração - Previsões

O mecanismo de condução estrutural é importante quando as estruturas sólidas são percutidas diretamente pelas fontes radiantes. É o caso do tráfego ferroviário.

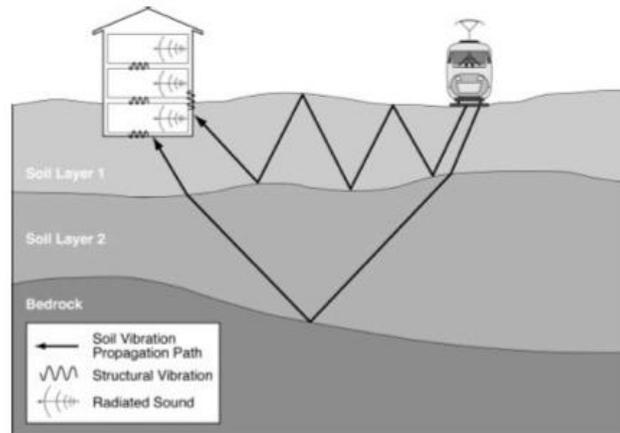
Embora relacionados, os mecanismos de transmissão de ruído por via aérea e de vibrações requerem procedimentos de análise distintos. Se na transmissão sonora por condução aérea, o meio de condução é o ar, as vibrações são transmitidas por via estrutural, ou seja, em meio sólido (edificações ou o próprio solo). Devido às suas características físicas, um meio sólido suporta outros tipos de ondas de propagação. Se no ar a propagação se processa por ondas longitudinais de compressão, num meio sólido têm de ser considerados outros tipos de ondas de propagação, algumas delas sem equivalente na condução aérea (ondas de corte transversais, ondas de superfície, ondas de flexão). A velocidade com que estas ondas se propagam é característica do seu tipo e função da elasticidade e massa do solo ou meio. O facto de as vibrações, no solo, se propagarem através de uma sucessão de meios sólidos com diferentes composições (rochas, estratos, fundações de edifícios) torna complexa tanto a sua quantificação como a sua previsão, em termos de níveis de vibração expectáveis (Hunt et al. 2007<sup>2</sup>).

As vibrações devidas aos veículos ferroviários provêm das forças de inércia geradas durante a passagem dos veículos por irregularidades das vias. No tráfego ferroviário as forças dinâmicas geradas pela ação do rodado de aço em carris do mesmo material provocam importantes vibrações no material circulante e na estrutura do carril. Estas últimas podem ser transmitidas a estruturas do edificado próximas, via solo, ou excitar e fazer vibrar outros tipos de estrutura (por ex. uma ponte).

A Figura seguinte ilustra as vias de propagação da vibração, em relação a um edifício devido à passagem de um comboio.

---

<sup>2</sup> Hunt, S.; Hussein, M. (2007). "Ground-Borne Vibration Transmission from road and rail systems: prediction and control", em *Handbook of Noise and Vibration Control*, Ed. Malcolm J. Crocker, John Wiley & Sons, New York, 2007.



**Figura AT4.13–** Caminhos de propagação por condução estrutural devido a fonte vibrátil - Fonte: FTA, 2006

A vibração do carril e suas estruturas excita o solo adjacente, criando ondas de vibração, as quais através das fundações, se propagam pela estrutura do edifício. A amplitude máxima de vibração das paredes e pavimentos ocorre nas frequências de ressonância destes elementos de construção. Estes elementos comportam-se como superfícies de radiação sonora, podendo emitir som audível às baixas frequências (< 200 Hz). Este constitui o mecanismo responsável pela geração secundária de ruído.

O nível ou a intensidade de uma vibração é obtido, geralmente pela determinação do valor máximo ou do valor eficaz do deslocamento, velocidade ou aceleração de um ponto da estrutura ou solo cuja vibração se pretende avaliar. É prática corrente, nas vibrações transitórias, referir o valor máximo (valor de pico) e nas vibrações contínuas, o valor eficaz (ou rms). A velocidade  $v$  de uma vibração pode ser quantificada em níveis de velocidade  $L_v$  (dBV), segundo:

$$L_v = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{v}{v_{ref}} \right)$$

em que para a velocidade de referência é comum utilizar-se o valor de  $v_{ref} = 0,5 \times 10^{-7}$  m/s.

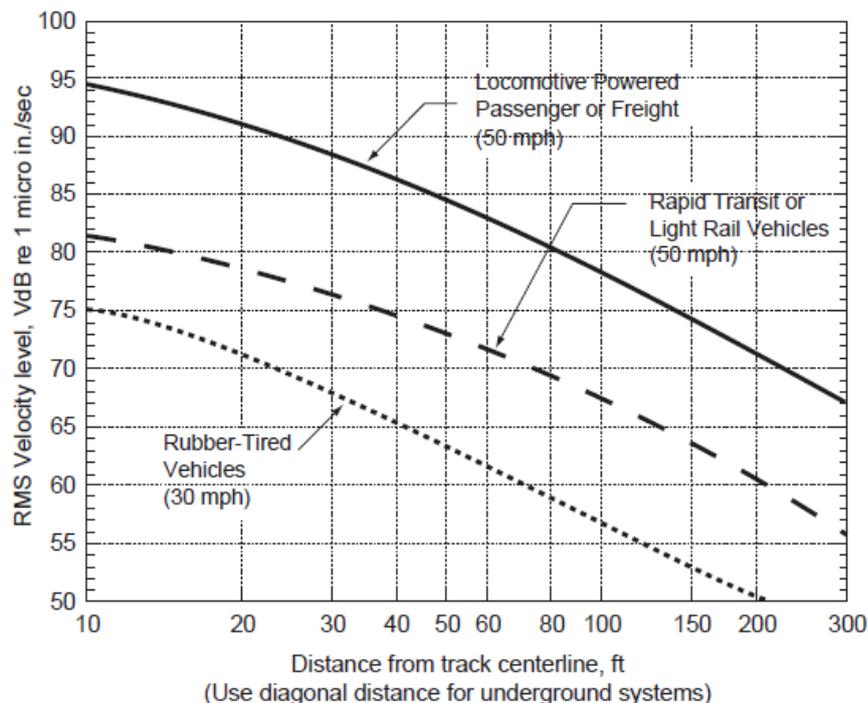
A atenuação da velocidade de vibração com a distância pode ser estimada recorrendo à seguinte expressão (Bahrekazemi 2004<sup>3</sup>; Hunt et al. 2007<sup>2</sup>):

<sup>3</sup> Bahrekazemi, M. (2004). "Train-Induced Ground Vibration and Its Prediction", Tese de Doutoramento, Dept. de Arquitectura e Engenharia Civil, Instituto Real de Tecnologia, Estocolmo

$$v = v_0 \cdot \left( \frac{r}{r_0} \right)^{-n} \cdot e^{-\alpha(r-r_0)}$$

em que  $v_0$  é a velocidade de vibração na fonte,  $r_0$  a distância da fonte ao ponto de referência no solo,  $r$  é a distância da fonte ao recetor,  $n$  representa a atenuação geométrica e  $\alpha$  é um fator de atenuação que depende da constituição do solo.

O valor para a emissão de vibrações utilizado no cálculo previewal foi obtido a partir dos valores do gráfico da figura seguinte.



**Figura AT4.14** - Níveis de vibração induzidas por comboios, em função da distância (Fonte: FTA, 2006)

Da análise do gráfico da figura anterior, obtém-se a 3 m de distância de afastamento de um comboio a circular a 80 km/h uma velocidade de vibração de 0,30 mm/s.

O grau de incomodidade sentido pelos seres humanos, no que respeita às vibrações, depende da magnitude, composição espectral, direção e duração da exposição, bem como da postura e orientação do corpo. Em geral, as respostas dos seres humanos às vibrações podem ser divididas em três categorias: o limiar da perceção, o limiar da incomodidade e o limite de tolerância. Estas categorias estão espelhadas nos critérios do LNEC para a avaliação de incomodidade causada por vibrações.

No presente projeto ferroviário, os recetores mais próximos da via situam-se a cerca de 8 a 10 m da via. Como tal, os mecanismos de geração de ruído por via estrutural ou de transmissão de estímulos de vibrações assumirão importância.

No quadro seguinte apresentam-se os recetores mais próximos da via-férrea e as correspondentes velocidades de vibração previstas.

**Quadro AT4.9 - Velocidades de vibração previstas, em mm/s**

Recetor	PK	Lado	Velocidade (km/h)	Distancia (m)	Nível emitido [dBv]	Atenuação com a distância [dBv]	Velocidade de vibração no recetor [mm/s]
V1	117+700	Ascendente	80	13	75,5	3,5	<b>0,20</b>
V2	117+775	Ascendente	90	21	76,6	6,3	<b>0,16</b>
V3	117+875	Ascendente	90	41	76,6	13,2	<b>0,07</b>
V4	118+650	Ascendente	90	96	76,6	32,3	0,01
V5	119+450	Ascendente	110	71	78,9	23,6	0,03
V6	119+540	Descendente	110	61	78,9	20,2	<b>0,04</b>
V7	120+010	Ascendente	110	51	78,9	16,7	<b>0,06</b>
V8	120+125	Descendente	110	84	78,9	28,1	0,02
V9	121+400	Ascendente	120	100	80,0	33,7	0,01
V10	123+900	Ascendente	120	56	80,0	18,4	<b>0,06</b>
V11	124+100	Ascendente	120	41	80,0	13,2	<b>0,11</b>
V12	124+400	Descendente	120	7	80,0	1,4	<b>0,43</b>
V13	124+600	Descendente	120	91	80,0	30,6	0,01

Da análise do quadro anterior verifica-se que poderão ocorrer impactes negativos, de moderada a elevada magnitude e significativos (recetores com níveis de velocidade de vibração > 0,3 mm/s), contudo minimizáveis, sendo justificável a adoção de medidas minimizadoras nas seguintes zonas:

- Zona 1: entre o PK inicial e PK 118+875;
- Zona 2: entre o PK 119+540 e o PK 120+010;
- Zona 3: entre o PK 123+900 e o PK 124+400.

### 3 MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO

#### 3.1 Fase de Construção

Caso venha ser necessário recorrer à utilização de explosivos para desmonte de formações rochosas, a mesma deve limitar-se os dias úteis, em período exclusivamente diurno.

As populações devem ser avisadas, com antecedência, da programação e dos horários das pegas de fogo, bem como de eventuais limitações delas decorrentes, como a interrupção da utilização de vias, necessidades de evacuação temporária de espaços e edifícios ou outras que possam ocorrer.

Antes de utilização de explosivos, cabe ao empreiteiro proceder-se a uma detalhada e documentada vistoria prévia das habitações e outras construções ou estruturas suscetíveis de ser afetadas, e a nova vistoria imediatamente após a execução do fogo, de modo a verificar possíveis afetações que, a ocorrerem, devem ser objeto da necessária indemnização. Na definição do perímetro da área a vistoriar deve aplicar-se o princípio da precaução, pelo que este perímetro deve ser definido por excesso e não por defeito.

As operações de utilização de explosivos e a adoção e execução das medidas mitigadoras devem ser objeto de monitorização. No caso dos desmontes e escavações, aconselha-se a utilização de explosivos cujos resíduos não sejam persistentes nem solúveis (de preferência totalmente convertidos em gases após a explosão) e a minimização das cargas de forma a reduzir as fracturações desnecessárias. A ocorrência de “caixas de falha”, que constituem zonas preferenciais de percolação vertical devem ser devidamente preenchidas e seladas com material impermeável. Neste âmbito, deve ainda ser dado cumprimento ao preconizado no Despacho 19GDN2017.

#### 3.2 Fase de Exploração

A minimização da transmissão por via estrutural, nas zonas identificadas, poderá ser efetuada recorrendo a três tipologias de soluções:

- Solução 1: Manta de balastro - a aplicar na zona 1 e na zona 3;
- Solução 2: Palmilha de travessa - a aplicar na zona 2;
- Solução 3: Duplo sistema massa-mola (manta de balastro + palmilha de travessa) – a aplicar na zona envolvente do recetor 12.

As soluções a aplicar deverão garantir, no mínimo, as seguintes perdas de inserção para frequências iguais ou superiores a 63 Hz:

- Solução 1:  $\geq 15,3$  dB,
- Solução 2:  $\geq 6,0$  dB;
- Solução 3:  $\geq 22,0$  dB.

Após a adoção das soluções preconizadas, prevê-se que os valores de vibração estejam dentro do limiar de 0,03 mm/s estabelecido pelo LNEC, conforme se pode verificar pela análise do quadro seguinte.

**Quadro AT4.10 - Velocidades de vibração previstas, em mm/s**

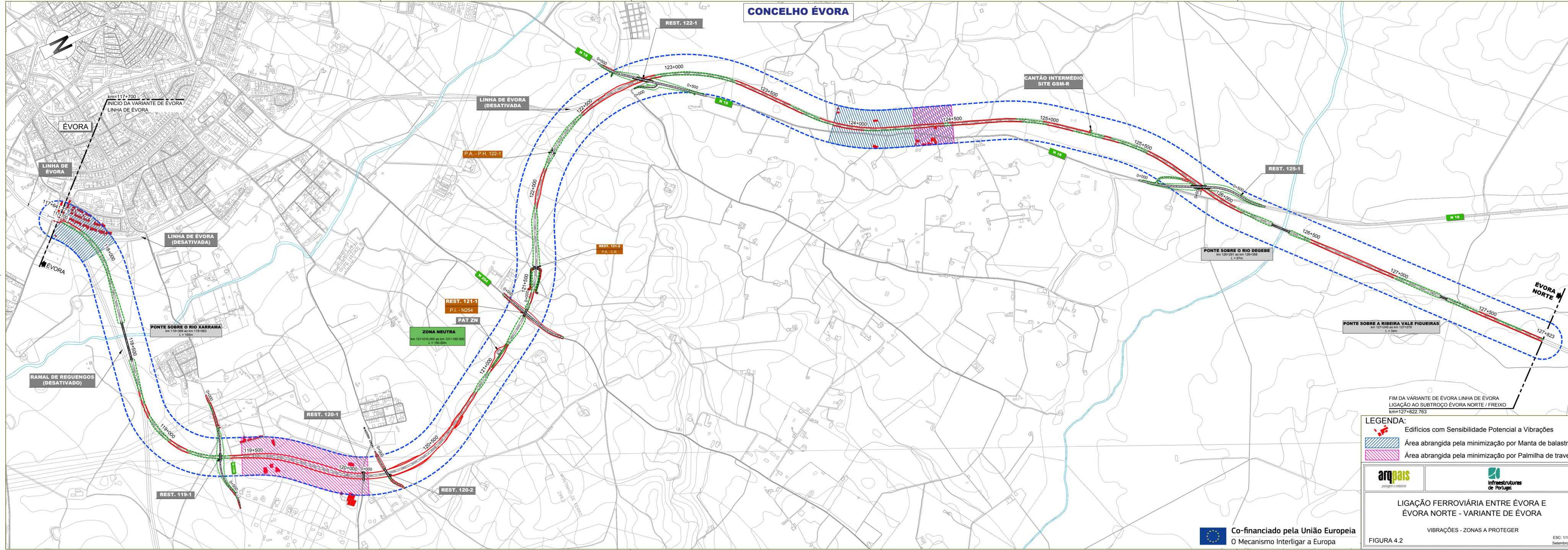
Recetor	PK	lado	Velocidade [km/h]	Distancia [m]	Nível emitido [dBv]	Atenuação com a distância [dBv]	Solução	Velocidade de vibração no recetor [mm/s]
1	117+700	asc	80	13	75,5	3,5	S1	0,03
2	117+775	asc	90	21	76,6	6,3	S1	0,03
3	117+875	asc	90	41	76,6	13,2	S1	0,01
6	119+540	des	110	61	78,9	20,2	S2	0,02
7	120+010	asc	110	51	78,9	16,7	S2	0,03
10	123+900	asc	120	56	80,0	18,4	S1	0,01
11	124+100	asc	120	41	80,0	13,2	S1	0,02
12	124+400	des	120	7	80,0	1,4	S3	0,03

As soluções recomendadas deverão ser implementadas de acordo com os pk identificados no quadro seguinte:

**Quadro AT4.11 - Localização das medidas minimizadoras a implementar**

PK inicial	PK Final	Solução
117+600	117+975	Solução 1
119+440	120+110	Solução 2
123+850	124+300	Solução 1
124+300	124+500	Solução 3





**CONCELHO ÉVORA**

km=117+700  
**INÍCIO DA VARIANTE DE ÉVORA**  
 LINHA DE ÉVORA

LINHA DE ÉVORA  
 (DESATIVADA)

**CANTÃO INTERMÉDIO**  
 SITE GSM-R

**PONTE SOBRE O RIO XARRAMA**  
 km 118+368 ao km 118+563  
 L=195m

**ZONA NEUTRA**  
 km 121+010.000 ao km 121+160.000  
 L=150,00m

**PONTE SOBRE O RIO DEGEBE**  
 km 126+201 ao km 126+368  
 L=167m

**PONTE SOBRE A RIBEIRA VALE FIGUEIRAS**  
 km 127+245 ao km 127+279  
 L=34m

- LEGENDA:**
- Edifícios com Sensibilidade Potencial a Vibrações
  - Área abrangida pela minimização por Manta de balastro
  - Área abrangida pela minimização por Palmilha de travessa

arqpais  
 paisagem e ambiente

Infraestruturas de Portugal

**LIGAÇÃO FERROVIÁRIA ENTRE ÉVORA E ÉVORA NORTE - VARIANTE DE ÉVORA**

VIBRAÇÕES - ZONAS A PROTEGER

FIGURA 4.2

ESC: 1/10 000  
 Setembro 2019

**Co-financiado pela União Europeia**  
 O Mecanismo Interligar a Europa

841 mm x 297 mm