



# **PLANOS DE AÇÃO**

## **DA**

# **REDE FERROVIÁRIA NACIONAL**

## **PLANO DE AÇÃO DA LINHA DO MINHO II**

**Maio 2020**

# PLANOS DE AÇÃO DA REDE FERROVIÁRIA NACIONAL

## PLANO DE AÇÃO DA LINHA DO MINHO II

### Equipa de trabalho principal:

**Alexandre M. Silva Pereira**, Eng., DFA Eng. Acústica

**António José Ferreira**, DFA Eng. Acústica

**Aline Ventura Nardi**, Arq, MArq.

**J. L. Bento Coelho** Eng., MSc., PhD., IIAV Fellow (Coordenador)

## CONTEÚDO

<b>RESUMO</b> .....	<b>4</b>
<b>1. ÂMBITO E OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
<b>2. ENQUADRAMENTO LEGAL</b> .....	<b>10</b>
<b>3. O RUÍDO FERROVIÁRIO DA LINHA DO MINHO II</b> .....	<b>15</b>
<b>4. METODOLOGIA DO PLANO DE AÇÃO</b> .....	<b>21</b>
4.1. PRINCÍPIOS.....	21
4.2. METODOLOGIA GERAL.....	21
<b>5. ENVOLVENTE ACÚSTICA DA LINHA DO MINHO II</b> .....	<b>24</b>
5.1. ANÁLISE ACÚSTICA.....	24
5.2. MEDIDAS JÁ IMPLEMENTADAS E EM CURSO.....	26
5.3. MAPAS DE CONFLITO.....	28
<b>6. ZONAS DE INTERVENÇÃO</b> .....	<b>34</b>
<b>7. AÇÕES PARA GESTÃO E REDUÇÃO DO RUÍDO FERROVIÁRIO</b> .....	<b>37</b>
<b>8. TIPOLOGIA DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS</b> .....	<b>41</b>
<b>9. REDUÇÃO DO RUÍDO: INTERVENÇÕES E MEDIDAS</b> .....	<b>52</b>
9.1 SOLUÇÕES TÉCNICAS.....	52
9.2 ANÁLISE DE EFICÁCIA.....	53
9.3 INFORMAÇÕES FINANCEIRAS.....	67
<b>10. PLANEAMENTO DAS AÇÕES</b> .....	<b>70</b>
10.1 HIERARQUIZAÇÃO TEMPORAL.....	70
10.2 AÇÃO ESTRATÉGICA A MÉDIO/LONGO PRAZO.....	71
10.3 MONITORIZAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DO PA.....	73
<b>11. QUADRO RESUMO</b> .....	<b>74</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>75</b>

## Resumo

O Plano de Ação de Redução do Ruído Ferroviário (doravante denominado Plano de Ação - PA) referente à Linha do Minho II é elaborado pela entidade responsável, nomeadamente a INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL, SA, (IP), com o objetivo de dar cumprimento ao enquadramento legal que se impõe a esta entidade, no âmbito dos requisitos do Decreto-Lei n.º 146/2006 (DL146/2006), de 31 de Julho, que transpõe a Diretiva n.º 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa a gestão e avaliação de ruído ambiente, mais especificamente a elaboração de estudos no âmbito dos Mapas Estratégicos de Ruído (MER) e elaboração do correspondente PA para a área afetada pela Linha do Minho II. Este troço, que estabelece a ligação entre Ermesinde (pk 8+430) e Lousado (pk 25+520), é uma via larga dupla com aproximadamente 17 km de extensão, apresentando seis estações intermédias. Encontra-se incluído, no presente PA, o troço entre Ermesinde e o pk 9+200 da Linha do Douro.

Esta infraestrutura apresenta um volume de tráfego ferroviário superior a 30 000 passagens de comboios por ano, sendo como tal considerada uma Grande Infraestrutura de Transporte Ferroviário (GIF) à luz do estipulado no artigo 3º do Regulamento Geral do Ruído (RGR), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, retificado pela Declaração de Rectificação n.º 18/2007, de 16 de Março, e alterado pelo Decreto-Lei n.º 278/2007, de 1 de Agosto.

Este, no ponto 9 do seu Artigo 19.º estabelece ainda que “As grandes infra-estruturas de transporte ... ferroviário ... elaboram mapas estratégicos de ruído e planos de ação, nos termos do disposto no Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de julho”.

Os objetivos do presente Plano são alcançados através de estratégias otimizadas para gestão, controlo e redução da exposição ao ruído das populações eventualmente afetadas pela exploração da Linha do Minho II. O presente PA destina-se assim a gerir os problemas e efeitos do ruído gerados pela referida GIF, incluindo a redução do ruído, onde necessário.

O PA da Linha do Minho II foi desenvolvido na sequência da elaboração dos Mapas Estratégicos de Ruído (MER) daquela Linha.

A abordagem metodológica utilizada baseia-se na análise dos mapas de conflitos para os indicadores de ruído ambiente regulamentares  $L_{den}$  e  $L_n$  bem como para os limites de ruído legais vigentes, os quais têm em consideração a carta de classificação acústica do território municipal.

O grau de conflito foi codificado segundo os intervalos de 0 a 3 dB, de 3 a 5 dB e acima de 5 dB. Dos dois indicadores de ruído legais vigentes, foi escolhido o indicador  $L_n$  para se proceder à análise dos conflitos, por ser aquele que verifica o maior grau de conflito.

As zonas que apresentam valores de conflito até 3 dB foram consideradas como de vigilância, tendo em conta as incertezas associadas a todo o processo de avaliação, quer experimental quer de cálculo, que pode assumir valores daquela ordem de grandeza. Tais valores poderão, contudo, indiciar desvios marginais que devem ser vigiados para não aumentarem. Não justificam, no entanto, na presente fase, qualquer ação concreta.

Para valores de desvio (conflito com valor limite legal) superiores, foram estudadas e desenvolvidas estratégias e ações com vista ao controlo e redução do ruído com origem ferroviária.

A análise das áreas em conflito identificou sete zonas de intervenção na envolvente da Linha do Minho II, e sobre as quais incide o presente PA:

- Zona 1, entre o pk 8+870 e o pk 10+160 no Município de Valongo;
- Zona 2, entre o pk 11+290 e o pk 11+450 no Município de Maia;
- Zona 3, entre o pk 14+900 e o pk 15+100 no Município de Trofa;
- Zona 4, entre o pk 16+525 e o pk 16+810 no Município de Trofa;
- Zona 5, entre o pk 18+170 e o pk 18+430 no Município de Trofa;
- Zona 6, entre o pk 23+540 e o pk 23+670 no Município de Trofa;
- Zona 7, entre o pk 24+360 e o pk 25+240 no Município de V. N. de Famalicão.

Podem ser definidas distintas tipologias de intervenção direcionadas para gestão, controlo e redução do ruído de origem ferroviária. As ações consideradas para a boa gestão do ambiente acústico podem ser do tipo (i) comunicação, sensibilização e participação pública, (ii) vigilância e monitorização, (iii) gestão de fontes emissoras de ruído e (iv) controlo e atenuação de ruído ferroviário.

As estratégias para a redução do ruído passam por criar perdas de transmissão no meio, quer por introdução de uma solução atenuadora no sistema roda-carril (em qualquer das suas componentes), quer por introdução de barreiras acústicas, dispositivos de atenuação de ruído interpostos no percurso de transmissão entre o emissor (linha ferroviária) e o recetor.

Privilegiaram-se, sempre que possível, as intervenções que atuem na redução de ruído na fonte (linha/material circulante).

Não foram consideradas, por questões de exequibilidade prática, operacional e económica, ou por não se julgarem justificadas, outras medidas tais como a limitação de velocidades de circulação, alteração ao uso dos solos ou o reforço de isolamento sonoro de fachada.

Para a Linha do Minho II, foi preconizado um conjunto de intervenções diversas, sob a designação de situação futura, em que ações diretas na via e/ou no percurso da transmissão sonora, constituem as medidas de controlo e redução de ruído: (i) adoção de atenuadores sintonizados de carril e (ii) instalação de barreiras acústicas. É, ainda, recomendado um programa regular de esmerilagem da via de modo a minimizar o desgaste ondulatório do carril. Estas medidas são de âmbito global/local.

As medidas de minoração sonora são as que se afiguram como exequíveis do ponto de vista prático, bem como económica e socialmente viáveis, encontrando-se também contempladas nas orientações estratégicas da IP em matéria de políticas de ambiente.

Para a situação futura são consideradas medidas que, embora não diretamente relacionadas com as ações de engenharia acústica, são importantes, a médio e a longo prazo, para a eficácia real e percebida das mesmas, tal como a elaboração de um plano de manutenção/monitorização de medidas de minoração implementadas bem como ações a desenvolver junto do público, de modo a promover a *goodwill*. Estas podem incluir a comunicação de intervenções na via relevantes para a minoração do ruído, a manutenção da circulação de informação entre os vários *stakeholders* (operadores, câmaras, público) e a elaboração de inquéritos às populações afetadas sobre o grau de incomodidade sentida.

O resultado da análise de eficácia das medidas propostas, em termos de redução das populações expostas mostra que o número de pessoas residentes na área da classe de maior conflito (> 5 dB) é reduzido em 99%, enquanto que na área da classe de conflito intermédio (entre 3 e 5 dB) é reduzido em 97%, ou seja, deixa de haver praticamente residentes expostos aos níveis sonoros mais elevados.

Assim, os benefícios em termos da redução do número de residentes expostos a níveis sonoros excessivos demonstram que as ações de intervenção preconizadas para a Linha do Minho II revelam uma eficácia de praticamente 100%, o que se considera excelente para um plano de curto prazo (cinco anos).

A otimização do conjunto das propostas e seus resultados passa por uma hierarquização das intervenções, cuja adoção tem de ser balizada não só pelos benefícios esperados e pelos aspetos práticos e económicos da sua execução mas igualmente por eventuais aspetos funcionais que envolvam sequências de operação bem como pelos resultados de novas avaliações, tendo em conta o curto prazo (cinco anos) de um plano que envolve ações cuja execução pode revelar-se complexa para tal período.

O período de cinco anos do plano poderá ser dividido em duas fases. A primeira, correspondente aos primeiros três anos, compreenderá (i) a instalação de atenuadores sintonizados de carril, (ii) a instalação de barreiras acústicas, (iii) ações de verificação, monitorização e manutenção das medidas de controlo de ruído já implementadas e (iv) ações de sensibilização e informação sobre o ruído para a comunidade em geral.

Numa segunda fase, nos dois anos seguintes, será dado início ao programa de esmerilagem periódica de carris e ao programa de manutenção dos atenuadores sintonizados de carril. Será, ainda, dada continuidade às ações de sensibilização e informação.

A execução do presente PA resultará numa substancial diminuição da extensão das linhas isofónicas correspondentes ao ruído de circulação ferroviária, e, como tal, da população exposta ao ruído ferroviário. As zonas de vizinhança da Linha do Minho II exibem numa grande parte da sua extensão uma concorrência com outras fontes sonoras, mais especificamente a circulação rodoviária. O objetivo deste PA constitui-se na diminuição da contribuição ferroviária para o ruído global. A estimativa do número de pessoas expostas a tal contribuição a efetuar no âmbito dos MER do próximo ciclo permitirá avaliar os benefícios recolhidos com a execução do PA.

## 1. Âmbito e Objetivos

O Plano de Ação de Redução do Ruído Ferroviário (doravante denominado Plano de Ação - PA) referente à Linha do Minho II é elaborado pela entidade responsável, nomeadamente as INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL, SA, (IP), com o objetivo de dar cumprimento ao enquadramento legal que se impõe a esta entidade, no âmbito dos requisitos do Decreto-Lei n.º 146/2006 (DL146/2006) de 31 de Julho que transpõe a Diretiva n.º 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa a gestão e avaliação de ruído ambiente, mais especificamente a elaboração de estudos no âmbito dos Mapas Estratégicos de Ruído (MER) e a elaboração do correspondente PA para as áreas territoriais expostas ao ruído gerado pelo tráfego ferroviário da Linha do Minho II.

O PA da Linha do Minho II é desenvolvido na sequência da elaboração dos Mapas Estratégicos de Ruído (MER) daquela Linha.

A elaboração de um Plano de Ação (PA) de uma Grande Infraestrutura de Transporte Ferroviário (GIF) é um trabalho complexo, envolvendo diversas tarefas especializadas da área de engenharia acústica, tais como estudo, especificação e otimização de medidas de controlo e de redução do ruído, modelação e simulação de cenários alternativos e/ou complementares, bem como análise de benefícios.

Os objetivos do presente Plano são atingidos, então, através de estratégias otimizadas para gestão, minimização e/ou compensação da exposição ao ruído das populações eventualmente afetadas pela exploração da Linha do Minho II.

O Anexo V do Decreto-Lei n.º 146/2006 especifica os requisitos mínimos que deverão enformar estes planos, nomeadamente:

- “Uma (...) identificação de problemas e situações que necessitem de ser corrigidas;
- Eventuais medidas de redução do ruído já em vigor e projetos em curso;
- Estratégia a longo prazo;
- Informações financeiras (se disponíveis): orçamentos, avaliação custo-eficácia, avaliação custo-benefício;
- Medidas previstas para avaliar a implementação e os resultados do plano de ação”.

Neste contexto, o presente PA contempla diversas fases de trabalho objetivadas para:

1. Estudo analítico do MER da Linha do Minho II;
2. Integração de medidas de minoração de ruído entretanto implementadas na infraestrutura;
3. Avaliação das zonas de conflito, face às disposições legais vigentes e tendo em conta a classificação acústica do território, fornecida pelas Câmaras Municipais afetadas pela GIF;
4. Definição das zonas de incidência do PA;
5. Estabelecimento de benefícios objetivos de intervenção;
6. Definição de soluções, procedimentos e estratégias típicas e aplicáveis;
7. Estimativa orçamental das medidas propostas;
8. Estudo de benefícios e otimização de intervenções por métodos iterativos;
9. Plano de intervenção com hierarquização e faseamento das ações, contemplando a visão a longo prazo;
10. Monitorização da implementação do PA.

O presente PA vigora para o período 2020-2025.

## 2. Enquadramento Legal

Os trabalhos para a elaboração do PA da Linha do Minho II seguiram os critérios constantes da legislação sobre ruído ambiente aplicável, em particular o Regulamento Geral do Ruído (RGR), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, retificado pela Declaração de Retificação n.º 18/2007, de 16 de Março e alterado pelo Decreto-Lei n.º 278/2007, de 1 de Agosto, o qual remete para o Decreto-Lei n.º 146/2006 de 31 de Julho (DL146/2006), que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. O Decreto-Lei n.º 146/2006 foi alterado no seu Anexo II pelo Decreto-Lei n.º 136-A/2019, de 6 de setembro, o qual transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva (UE) 2015/996, da Comissão, de 19 de maio de 2015.

O RGR tem por objeto a prevenção do ruído e o controlo da poluição sonora, tendo em vista a salvaguarda da saúde e do bem-estar das populações. Os seus princípios destinam-se a incidir, essencialmente, sobre as fases de planeamento e de ordenamento do território, mas, também, como critérios de correção e redução de ruído.

Em termos de ruído ambiente, o RGR define no seu Artigo 3.º três períodos de referência: o diurno, entre as 7h00 e as 20h00, o entardecer, entre as 20h00 e as 23h00, e o noturno, entre as 23h00 e as 7h00. Como os níveis sonoros são normalmente expressos pelo índice  $L_{Aeq}$ , nível sonoro contínuo equivalente, correspondente à sensação com que efetivamente o ser humano percebe o fenómeno sonoro, os indicadores de ruído ambiente para aqueles períodos são designados, respetivamente, por  $L_d$ ,  $L_e$  e  $L_n$ . Em consonância com as disposições europeias, a alínea j) do artigo 3º do RGR define ainda o indicador  $L_{den}$  como uma média ponderada de  $L_d$ ,  $L_e$  e  $L_n$  com penalizações para os períodos de entardecer e noturno:

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

As infraestruturas de transporte são genericamente contempladas no seu Artigo 19.º, “Infra-estruturas de transporte”, o qual estabelece, no seu ponto 1, que “As infra-estruturas de transporte, novas ou em exploração à data da entrada em vigor do presente Regulamento, estão sujeitas aos valores limite fixados

no artigo 11.º. Este artigo, “Valores limite de exposição”, define no seu n.º 1 o seguinte o critério para os valores limites de exposição:

- a) *As zonas mistas não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador  $L_{den}$ , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$ ;*
- b) *As zonas sensíveis não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador  $L_{den}$ , e superior a 45 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$ ;*
- c) *As zonas sensíveis em cuja proximidade exista em exploração, à data da entrada em vigor do presente Regulamento, uma grande infraestrutura de transporte não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador  $L_{den}$ , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$ .*

O ponto 3 deste artigo, estabelece que “*até à classificação das zonas sensíveis e mistas ..., para efeitos de verificação do valor limite de exposição, aplicam-se aos recetores sensíveis os valores limite de  $L_{den}$  igual ou inferior a 63 dB(A) e  $L_n$  igual ou inferior a 53 dB(A)*”.

A delimitação das áreas do território com a atribuição da classificação de zonas sensíveis e mistas é endossada à competência das respetivas câmaras municipais, cujo território é percorrido pela GIF, devendo tais zonas ser inscritas, delimitadas e disciplinadas no respetivo Plano Municipal de Ordenamento do Território (PMOT).

No Artigo 3.º, é definido:

**“zona sensível”** como “*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, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros*

*estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno”;*

*“**zona mista**” como “a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afeta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível”.*

O ponto 9 do Artigo 19.º estabelece que “As grandes infra-estruturas de transporte ... ferroviário ... elaboram Mapas Estratégicos de Ruído (MER) e Planos de Acção (PA), nos termos do disposto no Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de julho”. No Artigo 3.º, é definida “Grande infra-estrutura de transporte ferroviário” o troço ou conjunto de troços de uma via-férrea regional, nacional ou internacional identificada como tal pelo Instituto da Mobilidade e dos Transportes, onde se verifique mais de 30 000 passagens de comboios por ano. Ora, tal é o caso da Linha do Minho II o que remete para as disposições do Decreto-Lei n.º 146/2006.

O Decreto-Lei n.º 146/2006, publicado em 31 de Julho de 2006, transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, alterado no seu Anexo II pelo Decreto-Lei nº 136-A/2019, de 6 de Setembro, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva (UE) n.º 2015/996, da Comissão de 19 de Maio de 2015:

O Decreto-Lei n.º 146/2006 determina no seu artigo 1.º:

- a) *“a elaboração de mapas estratégicos de ruído que permitam quantificar a exposição ao ruído ambiente exterior, com base em métodos de avaliação harmonizados ao nível da União Europeia”.*
- b) *“a prestação de informação ao público sobre o ruído exterior e seus efeitos”.*
- c) *“a aprovação de planos de ação baseados nos mapas estratégicos de ruído a fim de prevenir e reduzir o ruído”.*

*ambiente sempre que necessário e em especial quando os níveis de exposição sejam suscetíveis de provocar efeitos prejudiciais para a saúde humana e de preservar a qualidade do ambiente acústico”.*

O âmbito de aplicação do DL146/2006 é definido no seu artigo 2.º como sendo “*aplicável ao ruído ambiente a que os seres humanos se encontram expostos em zonas que incluam usos habitacionais, escolares, hospitalares ou similares, espaços de lazer, em zonas tranquilas de uma aglomeração, em zonas tranquilas em campo aberto e noutras zonas cujo uso seja sensível ao ruído e que seja produzido nas aglomerações ou por grandes infraestruturas de transporte rodoviário, ferroviário ou aéreo”.*

Este Decreto-Lei determina então que, na sequência da elaboração dos MER, têm as entidades gestoras ou concessionárias das infraestruturas de transporte visadas de desenvolver Planos de Ação destinados a gerir os problemas e efeitos do ruído e a reduzir os níveis de ruído nas áreas respetivas onde tal seja necessário.

O DL 146/2006 mais estabelece no seu artigo 11.º que “os planos de acção são reavaliados e alterados de cinco em cinco anos a contar da data da sua elaboração” (ponto 1), ou “sempre que se verifique uma alteração significativa relativamente a fontes sonoras ... com efeitos no ruído ambiente” (ponto 2).

Este quadro legal, tanto na sua componente nacional como na europeia, estabelece estratégias claras e definidas no sentido da proteção e da melhoria da qualidade do ambiente sonoro exterior.

Estas estratégias passam pelo mapeamento de ruído e pela elaboração dos planos de ação e de redução de ruído como instrumentos importantes para, tendencialmente, reduzir o ruído nos aglomerados populacionais e junto às grandes infraestruturas de transportes e desta forma, reduzir a incomodidade das populações e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.

O atual enquadramento legal em vigor, nacional e europeu, considera a cartografia de ru do como forma privilegiada de diagn stico para a avalia o da incomodidade das popula es ao ru do e como um instrumento fundamental para a defini o e elabora o dos planos de a o e de redu o de ru do.

  neste enquadramento que foi elaborado o presente Plano de A o da Linha do Minho II.

### 3. O ruído ferroviário da Linha do Minho II

O ruído produzido pela circulação das composições ferroviárias constitui um dos desafios ambientais que a IP enfrenta. Esta empresa, resultante da fusão da REFER com as Estradas de Portugal, gere toda a infraestrutura de transporte terrestre (estradas e caminhos de ferro) em Portugal.

No âmbito europeu, o *Livro Branco da Comissão Europeia - Roteiro do espaço único europeu dos transportes* (2011), estipulou objetivos de sustentabilidade que implicam a minoração do impacto ambiental das operações ferroviárias. Esta inclui não só a emissão de gases de estufa e o consumo de energia, mas também o ruído emitido. A minoração destes impactos é crucial para manter a favorável posição ambiental do modo de transporte ferroviário – e como tal promover a sua maior utilização a nível europeu.

A gestão do ruído das GIF sob gestão da IP, quer através da elaboração dos MER, quer através de ações mitigadoras preconizadas nos subseqüentes PA é assim um desafio incontornável para esta empresa.

Esta GIF serve zonas urbanas e suburbanas na Área Metropolitana do Porto. A elevada concentração de atividades sociais, económicas e de meios de transporte torna estes territórios como espaços de vivência onde a preservação do ambiente se revela particularmente delicada. Esta situação tem-se agravado nos últimos dois séculos, sobretudo na era pós-revolução industrial.

O ruído de origem mecânica torna-se omnipresente, como resultado quer dos meios de transporte quer de equipamentos coletivos ou pessoais que fazem parte das atividades profissionais, de lazer ou, mesmo, da vivência normal. O cidadão tem-se tornado, crescentemente, mais consciente do ruído que o rodeia nas suas atividades e vivências quotidianas. Aqui, o ruído dos transportes, nomeadamente ferroviário, revela-se determinante. As exigências de qualidade de vida requerem das autoridades locais uma vigilância apertada do ruído nos espaços habitados.

No entanto, a ferrovia foi, historicamente, a primeira infraestrutura de transporte mais ou menos massificado a ser implantada no território nacional. De facto, as grandes construções de vias férreas iniciaram-se mundialmente nos meados do Séc. XIX e apesar dos avultados investimentos requeridos, Portugal não foi alheio a esta revolução no transporte terrestre. A partir do final do Séc. XIX, com a entrada ao serviço das várias vias férreas em território nacional (este troço da Linha do Minho II foi inaugurado em 1875), rapidamente estes eixos se tornaram estruturantes do território. Novas áreas se

expandiram a partir das zonas das estações (devido à maior mobilidade e acesso), consolidando-se um contínuo urbanístico em redor dos eixos ferroviários.

Isto implica que a via-férrea, como componente modificadora da paisagem sonora, faça parte de uma longa memória das populações. Se bem que se tenha registado alguma hostilidade no início (especialmente por questões de intrusão visual e paisagística), a assinatura sonora da via-férrea está definitivamente ancorada na memória das populações quer as que habitam na proximidade quer do público em geral.

Tal facto é corroborado pelos vários estudos sobre a relação dose-resposta entre o ruído gerado por meios de transporte e a incomodidade das populações nos quais é realçado o facto do ruído de tráfego ferroviário ser considerado como menos incómodo em relação ao ruído gerado por outros meios de transporte, como se pode observar na figura 1 (Ferreira, A., Bento Coelho, J. L. 2009, a partir de Miedema 2001).

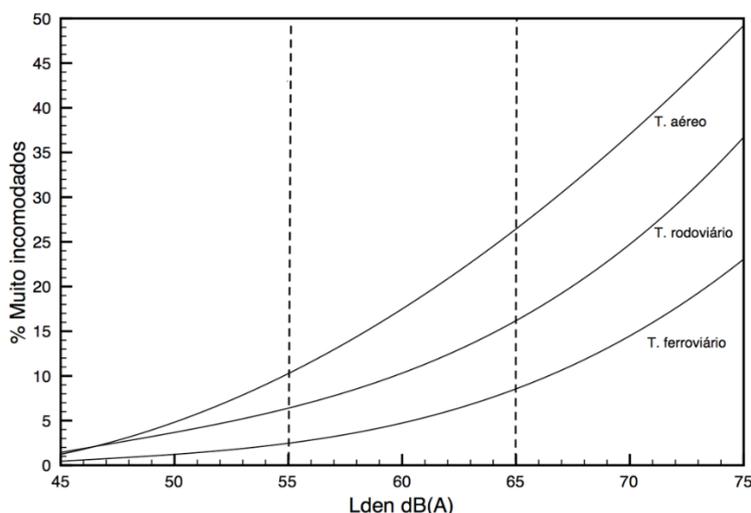


Figura 1. Percentagem de indivíduos “muito incomodados” para ruído de tráfego aéreo, rodoviário e ferroviário.

Embora estudos recentes apontem para a supressão deste “bonus” (em termos de ruído ferroviário) em determinadas condições específicas (alta intensidade de tráfego/percentagem de comboios de mercadorias), um estudo recente com base em inquéritos realizado pela SNCF (2018), atribui ao tráfego ferroviário 8% da incomodidade total devida ao ruído de transportes – em contraste com 67% para as rodovias e 14% para o tráfego aéreo.

A ferrovia é, apesar de tudo, considerada como um modo de transporte seguro, confortável e ecologicamente mais sustentável (menor consumo de energia e menor emissão de gases de estufa). No entanto, os problemas de ruído persistem e têm sido alvo de ações mitigadoras e de controlo e redução de ruído. A adoção destas não deverá colocar em causa a competitividade do transporte ferroviário, correndo-se o risco de anular os benefícios desta modalidade de transporte.

É todo este contexto que enforma o presente PA de Redução de Ruído para a GIF Linha do Minho II.

Este troço da Linha do Minho, que estabelece a ligação entre Ermesinde (pk 8+430) e Lousado (pk 25+520), é uma via larga dupla com aproximadamente 17 km de extensão, apresentando seis estações intermédias. Encontra-se incluído no presente PA o troço entre Ermesinde e o pk 9+200 da Linha do Douro.

O número médio de passagens por ano é de 46 800 comboios por dia. Este valor traduz-se em aproximadamente 128 comboios por dia nos dois sentidos de circulação.

O valor do tráfego médio anual coloca a Linha do Minho II na categoria de Grande Infraestrutura de Transporte Ferroviário segundo a definição do artigo 3.º “*Definições*” do Decreto-Lei n.º 146/2006.

Na Linha do Minho II circulam diversos tipos de comboios de passageiros. O material circulante dedicado ao serviço de passageiros consiste (i) nas UME 3400 do operador CP, que efetuam o serviço suburbano entre Porto São Bento e Braga/Guimarães (via a Linha do Minho e de Guimarães) e entre Porto São Bento e Caíde (via Linha do Douro), (ii) nas composições com locomotiva elétrica da série 5600 e carruagens CORAIL/Sorefame do operador CP, que efetuam o serviço Intercidades entre Lisboa/Braga, Lisboa/Guimarães e Lisboa/Viana do Castelo e (iii) nos CPA 4000 do operador CP que efetuam o serviço Alfa Pendular entre o Lisboa e Braga.

Na figura 2, pode observar-se duas das tipologias de comboios de passageiros que circulam regularmente nesta linha.



Figura 2. Material circulante na Linha do Minho II: locomotiva 5600 e carruagens CORAIL (Intercidades) (esq.); comboio UME 3400 (dir.).

A tabela 1 resume algumas das características do material circulante de passageiros nesta via.

Tabela 1. Características do material circulante de passageiros na Linha do Minho II.

Material circulante	Veículo	V max (km/h)	Nº bogies	Nº rodados	Tipo de freio
Série 4000 (Alfa)	Automotora elétrica	220	12	24	100% Discos
Série 3400 (urbano)	Automotora elétrica (UME)	140	5	10	100% Discos
Série 5600 (intercidades)	Locomotiva elétrica	220	2	4	100% cepos
Carruagens CORAIL/Sorefame (intercidades)	Veículo rebocado	200	2 (livres)	4 (livres)	Discos e cepos nas rodas

Além das referidas composições, circulam na Linha do Minho II as UTD 592, unidades triplas *diesel* em regime de aluguer ao operador espanhol RENFE, as quais efetuam o serviço regional e inter-regional entre Porto São Bento/Porto Campanhã e a Régua/Pocinho (via Linha do Douro), entre Porto Campanhã e Valença do Minho, bem como o serviço internacional entre Porto Campanhã e Vigo (Celta).

Finalmente, circulam neste troço da Linha do Minho vários comboios de mercadorias que efetuam o transporte de cimento, contentores e mercadorias diversas. Estes são operados pela Takargo (locomotivas diesel/elétricas da série 6000-Stadler), bem como pelo operador Medway (antiga CP

Carga), o qual utiliza as locomotivas elétricas das séries 5600 e 4700, bem como locomotivas *diesel* da série 1400.

As composições do tipo UME 3400 representam cerca de 63% do tráfego anual total da Linha do Minho II, com as composições UTD 592 a representarem cerca de 12% do tráfego anual total e as composições CPA 4000 e 5600/CORAIL a representarem, respetivamente, cerca de 8% e 5% do tráfego total anual. As operações de carga representam cerca de 12% do tráfego anual total.

Em conclusão, no tráfego ferroviário total que circula na Linha do Minho II predominam as composições da série UME 3400.

No caso do ruído ferroviário, a fonte de ruído cuja contribuição normalmente se prefigura mais relevante é constituída pelo sistema de rolamento. O ruído de rolamento tem origem na interação do sistema roda-carril, devido às rugosidades (corrugação) criadas nas superfícies de contacto entre o rasto da(s) roda(s) e a cabeça do carril, sendo que a energia das vibrações geradas é, em boa parte, transmitida ao meio ambiente circundante sob a forma de re-radiação das ondas sonoras (ruído aéreo).

As características de vibração/oscilação do próprio carril também são determinantes para o nível de ruído total. A importância da contribuição do carril para o ruído total depende ainda da rigidez/resiliência dos sistemas de fixação do carril/travessa e das características do solo.

Em curvas do traçado com curvatura mais apertada (raio < 200 m), a interação do sistema roda-carril pode gerar ruído com acentuadas características tonais (entre 250 Hz e 5 kHz) designado como “*curve noise squeal*”.

A intensidade do ruído de rolamento depende da velocidade da composição ferroviária, sendo que um aumento para o dobro da velocidade corresponde a um acréscimo de cerca de 8-10 dB(A) do ruído de rolamento. Esta é a fonte de ruído dominante para velocidades entre 40 km/h e cerca de 250 km/h. A baixas velocidades (< 40 km/h) predominam outras fontes (tais como o ruído do sistema de tração térmica ou de sistemas de arrefecimento nas motorizações elétricas) e a velocidades superiores a 250 km/h predomina o ruído de origem aerodinâmica.

Note-se que nas linhas férreas geridas pela IP, a velocidade máxima permitida é de 220 km/h pelo que o ruído de origem aerodinâmica não se considera preponderante ou mesmo relevante. No presente PA

da Linha do Minho II, os patamares de velocidade máxima de circulação situam-se entre os 140 km/h e os 160 km/h.

Os vários componentes do sistema roda-carril apresentam contribuições relativamente distintas para o ruído de rolamento total:

- Até cerca de 120 km/h, o carril é ligeiramente mais preponderante (+ 2 dB) em relação à roda, diminuindo de importância até esta velocidade; aqui a contribuição das emissões sonoras da roda e carril é mais ou menos equivalente;
- para velocidades superiores a 120 km/h a emissão sonora da roda torna-se ligeiramente mais preponderante (+2 dB).
- A energia de vibração das rodas concentra-se nas frequências superiores a 1500 Hz; a energia da emissão sonora do carril distribui-se por uma banda larga de frequências entre 250-1250 Hz enquanto as travessas contribuem com emissões sonoras em frequências inferiores a 400 Hz. A intensidade de vibração das travessas depende principalmente do grau de isolamento oferecido pelas palmilhas, o qual é fator direto da rigidez vertical das mesmas.

A totalidade das emissões sonoras resultantes das várias fontes acima mencionadas constituem o ruído devido à circulação ferroviária na Linha do Minho II. A consideração destes mecanismos é importante no sentido da otimização das intervenções para redução do ruído.

## 4. Metodologia do Plano de Ação

### 4.1. Princípios

Os Planos de Ação destinam-se, segundo a legislação aplicável, a definir ações e medidas de minimização de ruído no sentido de melhorar a qualidade do ambiente sonoro e de repor, tanto quanto possível e/ou razoável, os níveis vigentes de ruído ambiente dentro de limites estipulados. Estes limites referem-se, na legislação nacional, a zonas sensíveis e mistas, e consideram os distintos períodos de referência: diurno (entre as 7h00 e as 20h00), entardecer (entre as 20h00 e as 23h00) e noturno (entre as 23h00 e as 7h00).

O PA da Linha do Minho II tem por objetivo estabelecer um programa de atuação com vista à redução, controlo e gestão do ruído de origem ferroviária eliminando, tanto quando possível, conflitos com valores limite e ser conducente a uma melhoria geral do ambiente sonoro na área envolvente da GIF. Assim, o presente PA estabelece uma metodologia de intervenção faseada, com base nas tipologias de medidas de controlo de ruído e na análise de benefícios e de viabilidade técnica, operacional e económica. O faseamento é ditado tanto pelos benefícios a colher, como pela viabilidade prática da implementação.

Tal envolve (i) a análise de zonas, onde se verificam níveis sonoros excessivos em conflito com os valores limite estipulados na legislação aplicada sobre ruído ambiente, bem como a apreciação e a hierarquização de intervenções, (ii) a consideração de distintas tipologias de medidas de minimização de ruído, o estudo da sua viabilidade e correspondente eficácia e (iii) o faseamento das diversas ações preconizadas.

### 4.2. Metodologia geral

O presente PA resulta da avaliação da situação acústica na envolvente da Linha do Minho II (faixa lateral de 300 m de ambos os lados em relação ao eixo da via) patente nos mapas de ruído elaborados e da confrontação com os valores limite dos níveis sonoros expressos para aquele território (classificação acústica dos municípios em zonas sensíveis e mistas) bem como dos critérios de qualidade atualmente aceites a nível internacional e das boas práticas seguidas.

O MER da Linha do Minho II para os indicadores de ruído ambiente  $L_{den}$  e  $L_n$ , mostra as áreas geográficas expostas ao ruído ambiente, caracterizado em intervalos de níveis sonoros (normalizados de 5 em 5 dB(A)), delimitadas pelas diferentes curvas isofónicas.

Foram elaborados os mapas de conflitos para toda a envolvente da Linha, considerando as emissões sonoras incidentes e os valores limite correspondentes a cada zona patente na carta de classificação acústica do território e/ou disposições legais aplicáveis.

O grau de conflito foi codificado segundo os intervalos de 0 a 3 dB, de 3 a 5 dB e acima de 5 dB. De entre os dois indicadores de ruído legais vigentes, foi escolhido o indicador  $L_n$  para se proceder à análise dos conflitos, por ser aquele que verifica os maiores graus de conflito.

As zonas que apresentam valores de conflito até 3 dB foram consideradas como de vigilância, tendo em conta as incertezas associadas a todo o processo de avaliação, quer experimental quer de cálculo, que pode assumir valores desta ordem de grandeza. Tais valores poderão, contudo, indiciar desvios marginais que devem ser vigiados para não aumentarem. Não justificam, no entanto, na presente fase, qualquer ação.

Para valores de desvio (conflito com valor limite legal) superiores, foram estudadas e desenvolvidas estratégias e medidas de controlo e redução de ruído.

Foram contabilizadas, para as zonas de intervenção, o número de residentes e de edificado com uso sensível ao ruído, expostos a níveis sonoros com valores de desvio superiores ao valor limite legal. Para o cálculo das populações expostas foi efetuado o cruzamento dos dados de população por subsecção estatística do Censos 2011 considerando a população distribuída proporcionalmente pelo volume do edifício, para a fachada mais exposta ao ruído, de acordo com o exposto no ponto 4 “Cálculo da população exposta a partir dos mapas estratégicos de ruído” do documento “Diretrizes para Elaboração de Mapas de Ruído, Versão 3” de Dezembro 2011 da Agência Portuguesa do Ambiente. De notar, que ao atribuir toda a população residente num determinado edifício à fachada mais exposta, esta metodologia pode sobrestimar a quantidade de população de facto exposta ao ruído.

As medidas de redução de ruído foram selecionadas utilizando os critérios de eficácia técnica e de razoável custo associado, seguindo as boas práticas de Engenharia Acústica, no sentido de reduzir a extensão das curvas isofónicas e, como tal, a exposição das populações ao ruído. As medidas foram

desenhadas no sentido de não interferir com a funcionalidade do funcionamento da infraestrutura ferroviária.

As estratégias e medidas encontradas encontram-se hierarquizadas e a sua adoção é faseada no plano geral de intervenções, numa opção metodológica de desenvolvimento harmonioso, tendo em conta a diversidade de *stakeholders* envolvidos (Gestor da Infraestrutura, Operadores/Concessionários, Municípios, Tutela).

## 5. Envoltente acústica da Linha do Minho II

### 5.1. Análise acústica

As áreas envolventes da Linha do Minho II apresentam, em termos gerais, características urbanas e suburbanas, existindo zonas industriais intercaladas em áreas com características rurais.

As áreas de cariz tipicamente urbano situam-se entre Ermesinde e Travagem, tratando-se de áreas habitacionais consolidadas, com uma densidade de ocupação média e núcleos habitacionais com uma qualidade variável de construção. Grande parte das construções, correspondem a habitações unifamiliares ou prédios de habitação de altura variável, situando-se na envolvente próxima da linha-férrea, como se observa na figura 3.



Figura 3. Envoltente da Linha do Minho II na zona de Travagem (fonte: google maps).

Da análise do MER para o troço entre Ermesinde e Travagem, pode-se observar que quer a isófona dos 65 dB(A) para o indicador  $L_{den}$ , quer a isófona dos 55 dB(A) para o indicador  $L_n$  se encontram bastante confinadas a uma faixa em torno da via, respetivamente com cerca 50 m e com cerca de 80 m. Este confinamento deve-se, maioritariamente, à topografia dos terrenos e à presença de edificado nas proximidades da linha. No entanto, existem situações de campo livre em que a faixa contendo a isófona dos 65 dB(A) se pode estender até 65 m da via, enquanto que a faixa relativa à isófona dos 55 dB(A) se pode estender até cerca de 90 m da via.

Desde Travagem até São Romão do Coronado, a envolvente da linha é caracterizada por áreas maioritariamente de cariz industrial e/ou de serviços, com alguns bairros habitacionais, como sejam Leandro e São Frutuoso (figura 4).



*Figura 4. Envolvente da Linha do Minho II na zona de São Frutuoso, com áreas industriais e zonas urbanizadas (fonte: google maps).*

Neste troço, constata-se que as isófonas dos 65 dB(A) e dos 55 dB(A) se situam, respetivamente, numa faixa com cerca de 70 m e 100 m de largura em torno da linha. Note-se que, neste troço, o edificado com usos sensíveis localizado na proximidade da linha se concentra na localidade de São Frutuoso.

Desde São Romão até à entrada/saída sul do túnel da estação de Trofa, a envolvente da linha é caracterizada por áreas quase exclusivamente florestais e rurais ou sem ocupação específica. Excetuam-se os núcleos habitacionais de Outeiro e Portela, com algumas habitações perto da linha. Aqui, a isófono relativa aos 65 dB(A) ocupa uma faixa com uma largura de cerca de 55 m, enquanto a isófono dos 55 dB(A) ocupa uma faixa com aproximadamente 65 m de largura em torno da linha.

Desde a entrada/saída norte do túnel da estação de Trofa até à estação de Lousado, a envolvente da linha é caracterizada por áreas maioritariamente de cariz suburbano e rural. Aqui, a isófono relativa aos 65 dB(A) encontra-se confinada a uma faixa com uma largura variável entre os 40 m e 60 m, enquanto a isófono dos 55 dB(A) ocupa uma faixa com uma largura que varia entre os 50 m e os 65 m de largura em torno da linha. Em situações de campo livre, as referidas faixas podem estender-se a larguras com cerca de 70 m e 80 m, respetivamente. O edificado com uso sensível, mais exposto a níveis sonoros superiores aos valores limite regulamentados encontra-se situado dentro do perímetro urbano/suburbano de Lousado, como se pode observar na figura 5.



Figura 5. Envolvente da Linha do Minho II na zona urbana de Lousado (fonte: google maps).

Salienta-se ainda que a envolvente da Linha do Minho II, especialmente entre Travagem e São Romão, se encontra exposta a ruído de origem industrial, proveniente de atividades industriais e de serviços, nomeadamente os silos da cimenteira CIMPOR e a Siderurgia Nacional. Estas atividades geram níveis sonoros significativos nas suas proximidades. No entanto e apesar do traçado da linha se aproximar do traçado da autoestrada A3 (na zona de São Romão), predomina, na maior parte da envolvente da linha, o ruído com origem ferroviária.

## 5.2. Medidas já implementadas e em curso

As informações recolhidas para esta linha permitiram identificar intervenções que se afiguram como medidas com implicações na emissão e transmissão sonora com origem no tráfego ferroviário:

- (i) Barreiras acústicas, num troço a norte de Ermesinde e na zona da estação de Leandro;
- (ii) Intervenção no sistema de frenagem dos vagões de mercadorias: substituição dos cepos em ferro fundido por cepos de material sintético.

De acordo com informações disponibilizadas pela IP, os operadores de mercadorias (que, na generalidade, “herdaram” o material circulante da ex-CP Carga) beneficiam de já terem sido substituídos sistematicamente, no sistema de frenagem dos vagões de mercadorias, os habituais cepos de ferro fundido (CI) por cepos de material sintético (K, L ou LL). Esta intervenção constitui uma medida com manifesta influência (redução) nas emissões sonoras ferroviárias.

A figura 6 ilustra uma composição ferroviária representativa do tráfego de mercadorias que circula na Linha do Minho.



*Figura 6. Comboio de mercadorias composto por locomotiva 5600 com vagões cisterna, na Linha do Minho.*

A tabela 2 lista as medidas identificadas como já implementadas.

*Tabela 2. Medidas já implementadas na Linha do Minho II.*

Designação	Início [pk]	Fim [pk]	Extensão [m]	Sentido	Obs.
<b>Intervenção no sistema de frenagem dos vagões de mercadorias</b>	Toda a extensão da linha		17 000	-	Substituição dos cepos em ferro fundido por cepos sintéticos
<b>Barreira Acústica</b>	9+145	9+205	60	Descendente	Norte de Ermesinde h = 3 m
<b>Barreira Acústica</b>	11+370	11+425	55	Descendente	Estação de Leandro h = 2 m

### 5.3. Mapas de conflito

Foi solicitada às Câmaras Municipais, cujas áreas territoriais são percorridas pela GIF, informação relativa ao zonamento acústico do Município sob a sua responsabilidade, o que corresponde à classificação do território pela(s) autarquia(s) em função da sua sensibilidade ao ruído – zonas sensíveis ou zonas mistas ou, objetivamente, sem classificação acústica, na determinação regulamentar.

A tabela 3 resume a informação utilizada, de acordo com os dados disponibilizados pelas Câmaras cujos territórios são percorridos pela GIF.

*Tabela 3. Classificação acústica da zona envolvente.*

<b>Câmara Municipal</b>	<b>Classificação acústica envolvente da Linha</b>	<b><math>L_{den}</math> dB(A) valor limite</b>	<b><math>L_n</math> dB(A) valor limite</b>
VALONGO	Zona Mista / Zona Sensível / Zona não Classificada	65 / 55 / 63	55 / 45 / 53
MAIA	Zona Mista / Zona Sensível / Zona não Classificada	65 / 55 / 63	55 / 45 / 53
TROFA	Zona Mista / Zona Sensível / Zona não Classificada	65 / 55 / 63	55 / 45 / 53
VILA NOVA de FAMALICÃO	Zona Mista / Zona Sensível / Zona não Classificada	65 / 55 / 63	55 / 45 / 53

Esta informação foi cruzada com a área geográfica da envolvente da Linha do Minho II, de modo a obter-se a informação relevante para o cálculo do respetivo mapa de conflitos. Foi, ainda, tido em conta que, tratando-se de uma grande infraestrutura de transportes, qualquer que seja a classificação atribuída pelo município, os limites estabelecidos no RGR apontam para valores limite de 65 dB(A) para o indicador de ruído ambiente  $L_{den}$  e 55 dB(A) para o indicador  $L_n$  como valores limite para as áreas vizinhas (entendidas como uma vizinhança de 100 m) desta linha ferroviária.

A partir do MER da Linha do Minho II procedeu-se à elaboração dos mapas de conflitos associados à classificação acústica territorial com base nas zonas sensíveis e mistas. Os mapas de conflitos permitem uma análise e quantificação cuidada dos desvios em relação aos limites legais e a elaboração de estratégias e intervenções com vista à sua minimização.

Os mapas de conflitos, para ambos os indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ , são apresentados nas figuras 7 a 10. Note-se que estes mapas transcrevem, sob forma gráfica, o diferencial entre as emissões sonoras incidentes e os valores limite correspondentes a cada zona. Assim, podem existir variações em função da classificação acústica do território, caso esta classificação (ou a sua ausência) varie em zonas fora dos limites da faixa de proximidade da via (100 m).

O código de cores utilizado em todas as figuras reflete a divisão entre os vários graus de conflito: 0 a 3 dB, 3 a 5 dB e superiores a 5 dB, providenciando uma visão global da hierarquização das intervenções.

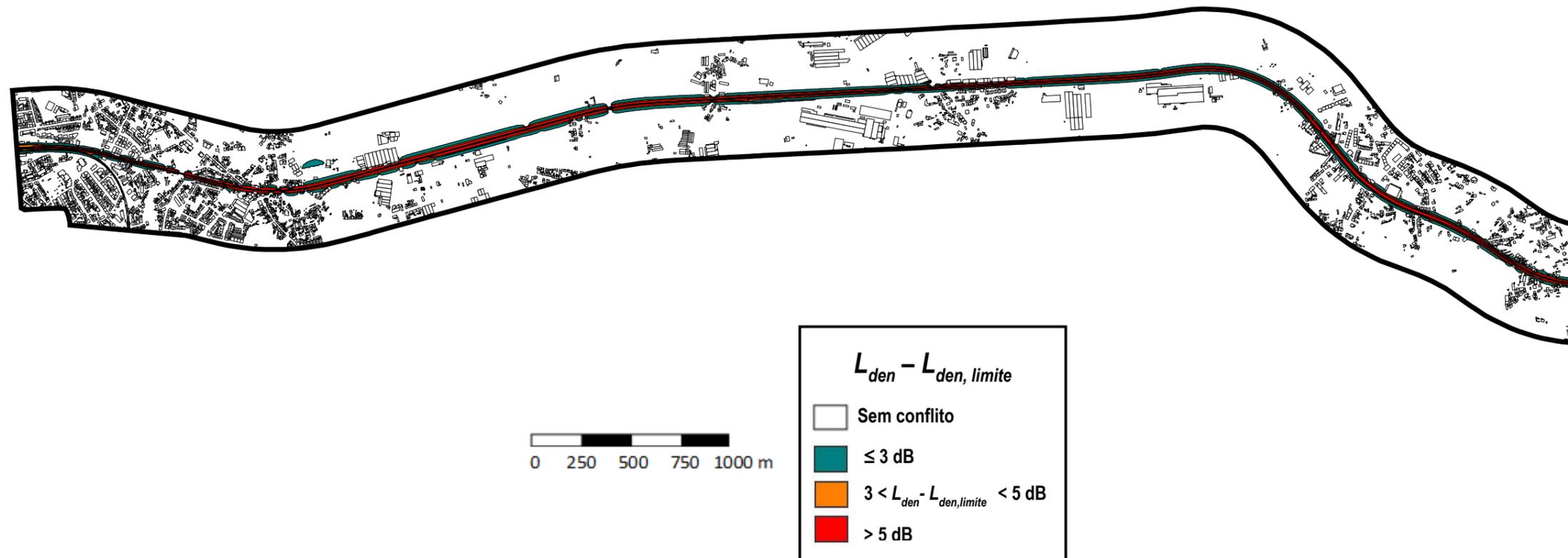


Figura 7. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Minho II (Ermesinde - Outeirô) e na classificação acústica territorial - Indicador  $L_{den}$

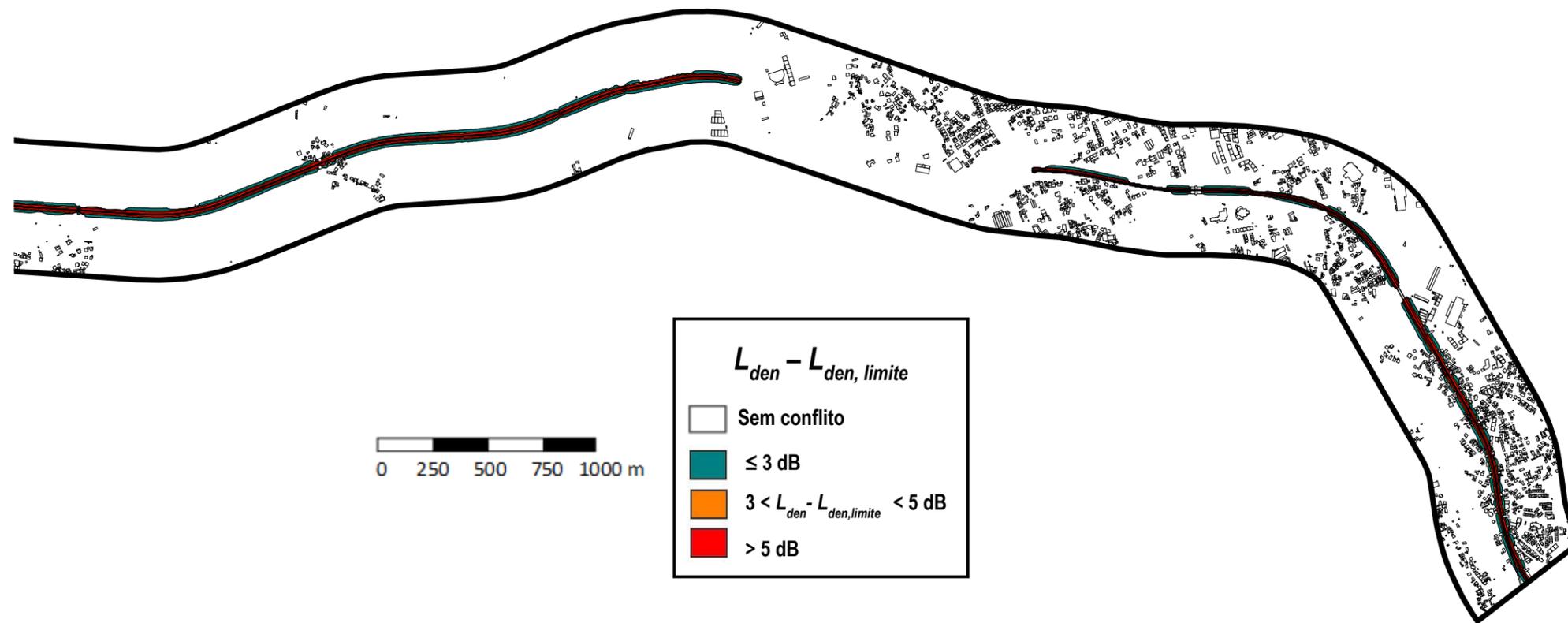


Figura 8. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Minho II (Outeirô - Lousado) e na classificação acústica territorial - Indicador  $L_{den}$

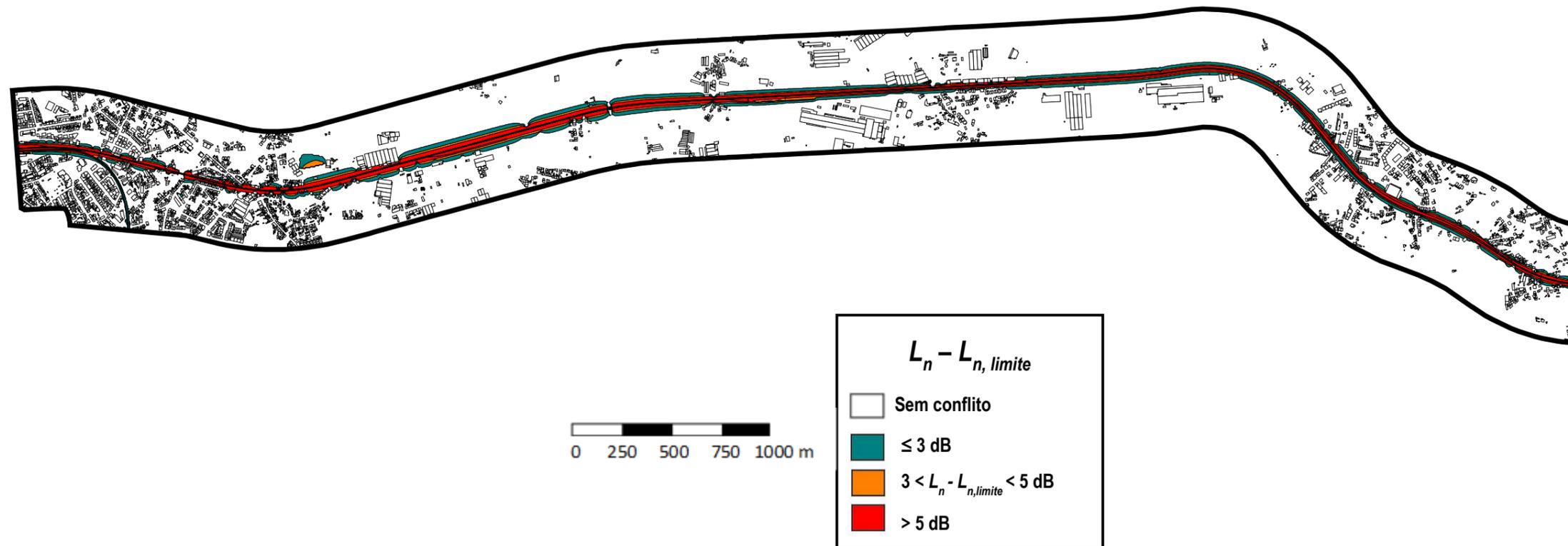


Figura 9. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Minho II (Ermesinde - Outeirô) e na classificação acústica territorial - Indicador  $L_n$

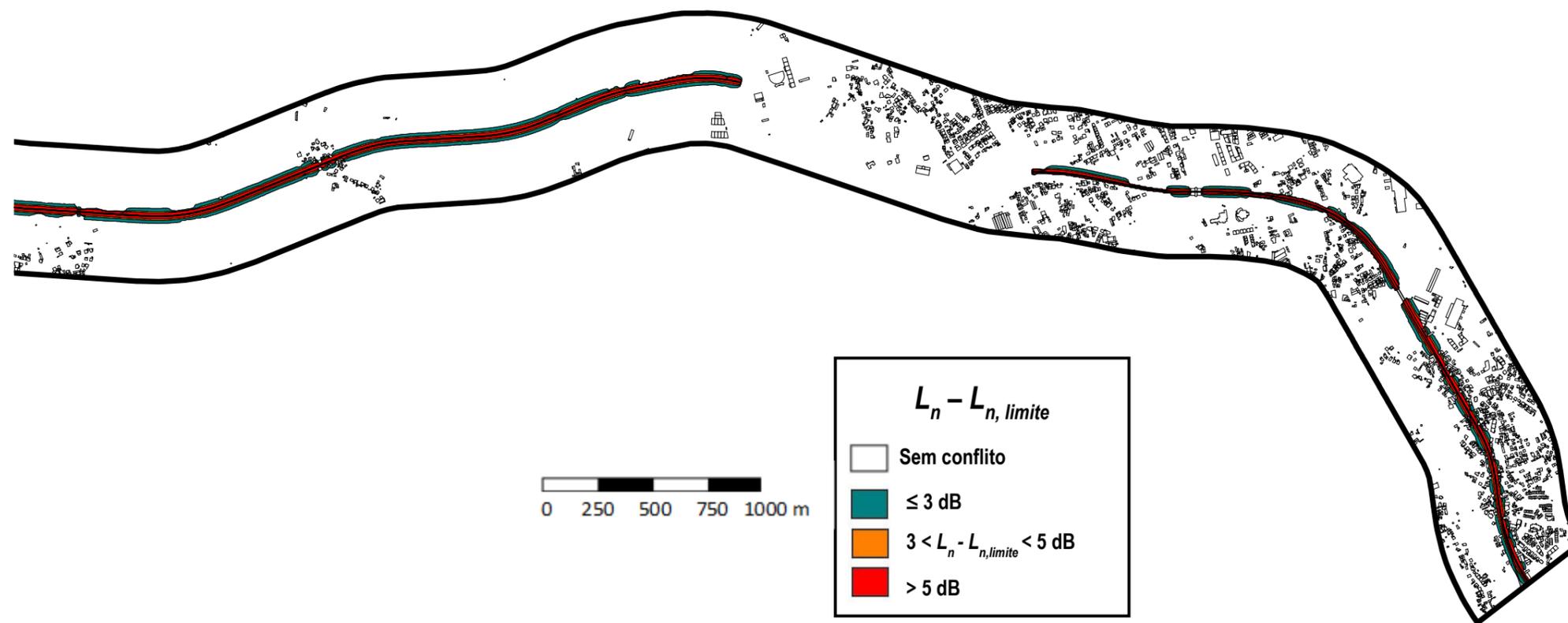


Figura 10. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Minho II (Outeirô - Lousado) e na classificação acústica territorial - Indicador  $L_n$

## 6. Zonas de intervenção

Numa análise global dos mapas de conflito, podemos verificar que as zonas em que se observam conflitos com os limites regulamentares abrangem várias áreas com alguma densidade urbanística na envolvente muito próxima da linha (< 50 m), nomeadamente entre a estação de Ermesinde e Travagem e entre Trofa e Lousado. Estas áreas contêm edifícios de habitação com diversas tipologias. Existem também núcleos de edificado, com exposição ao ruído ferroviário da Linha do Minho II, nas zonas de São Romão, Leandro e Portela. Finalmente, foram identificados alguns estabelecimentos de ensino (Externatos, Escolas Básicas) e identificado um estabelecimento de saúde na envolvente da linha, nomeadamente, o Hospital Trofa Saúde.

Uma análise mais detalhada das áreas em conflito permite identificar sete zonas na envolvente da Linha do Minho II e sobre as quais incide o presente PA.

As diferentes zonas podem ser observadas esquematicamente na figura 11.

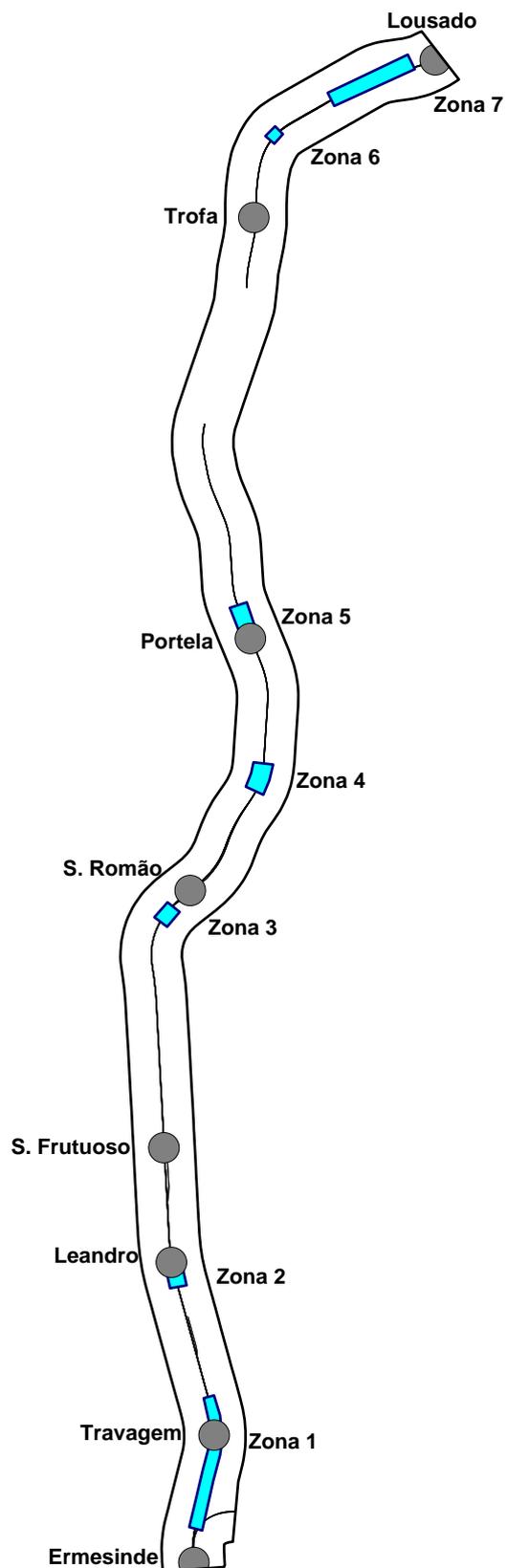


Figura 11. Zonas identificadas da Linha do Minho II com edifícios expostos com uso sensível ao ruído.

As zonas consideradas para intervenção encontram-se descritas na Tabela 4.

*Tabela 4. Zonas de intervenção na Linha do Minho II.*

<b>Zona</b>	<b>Município</b>	<b>Início (pk)</b>	<b>Fim (pk)</b>	<b>Localização recetores</b>
1	Valongo	8+870	10+160	ambos os sentidos
2	Maia	11+290	11+450	predominantemente descendente
3	Trofa	14+900	15+100	predominantemente descendente
4	Trofa	16+525	16+810	ambos os sentidos
5	Trofa	18+170	18+430	ambos os sentidos
6	Trofa	23+540	23+670	descendente
7	V. N. de Famalicão	24+360	25+240	ambos os sentidos

## 7. Ações para gestão e redução do ruído ferroviário

Podem ser definidas distintas tipologias de intervenções direcionadas para gestão, controlo e redução do ruído de origem ferroviária. As ações consideradas para a boa gestão do ambiente sonoro podem ser do tipo (i) comunicação, sensibilização e participação pública, (ii) vigilância e monitorização, (iii) gestão de fontes emissoras de ruído e (iv) controlo e redução dos níveis sonoros de emissão ferroviária.

O plano de intervenções deve considerar uma combinação racional e integrada das diferentes tipologias de ações, numa perspetiva de abordagem equilibrada, conforme as boas práticas de engenharia acústica. De facto, a otimização, em termos técnicos e financeiros, passa pela adoção combinada de distintas estratégias e medidas permitindo benefícios acrescidos sem criar ruturas ou perceção de dificuldades por parte quer das populações (tanto utilizadores da GIF como dos espaços da envolvente da linha) quer dos operadores de transporte, sem incorrer em custos incomportáveis, sendo a análise operacional, técnica e económica parte fundamental da tomada de decisão das estratégias a adotar.

O ruído percebido num determinado recetor sensível pode ser minorado recorrendo a ações que atuem na fonte do ruído, no caminho da transmissão sonora (caso das barreiras acústicas) ou atuando no isolamento do edificado. No entanto, a redução de ruído na fonte é, em geral, mais eficaz por atuar diretamente na redução das emissões sendo que em termos económicos se revela também frequentemente mais favorável.

Por outro lado, a redução de ruído na fonte é uma ação complexa que implica um bom conhecimento dos mecanismos de geração sonora. Numa primeira aproximação é necessário identificar a fonte ou mecanismo dominante de geração de ruído, tendo em conta que o ruído total de uma composição ferroviária em movimento será, naturalmente, o somatório das contribuições das diversas fontes de ruído em presença.

De modo a minimizar o ruído nas áreas envolventes de circulação ferroviária, podem considerar-se diversas estratégias de intervenção de controlo de ruído, com destaque para intervenções em várias componentes do ruído total, conforme esquematizado na figura 12.

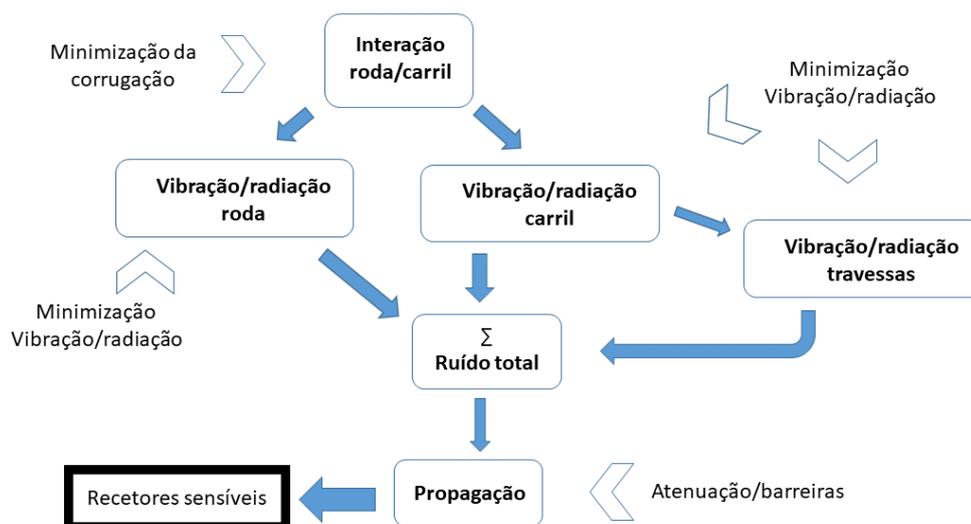


Figura 12. Componentes do ruído ferroviário e respetivas áreas de ação.

As soluções a adotar em cada caso são, naturalmente, função das situações e problemas concretos em presença, bem como dos objetivos a atingir. O sistema de propagação dos estímulos vibráteis do comboio é uma linha de transmissão complexa em que, quer a fonte (composição ferroviária), quer o transmissor (infraestrutura ferroviária, incluindo as travessas da linha), quer a carga (terreno em que se encontra instalada a linha ferroviária) desempenham um papel integrado.

As estratégias para a redução do ruído passam por criar perdas de transmissão no meio, tanto por introdução de uma qualquer solução atenuadora no sistema roda-carril (em qualquer das suas componentes), como por introdução de barreiras acústicas, dispositivos de atenuação de ruído interpostos no percurso de transmissão entre o emissor (linha ferroviária) e o recetor.

Finalmente, podem ser equacionadas intervenções no próprio recetor o que, em geral, implica o reforço do isolamento da fachada do edifício em causa. No entanto, esta medida é de delicada implementação tanto mais que embora reduza os níveis sonoros no interior de um edifício específico, em nada contribui, em contraste com as outras estratégias mencionadas, para uma redução global e generalizada do ruído ferroviário. Esta solução é apenas considerada no leque de soluções últimas ou de recurso.

As principais metodologias e soluções de controlo de ruído com interesse e de potencial aplicação no âmbito do PA de uma GIF podem então incluir:

### **Intervenções na linha**

- Renovação/beneficiação integral da ferrovia (RIV) com substituição da superestrutura;
- Soluções para minimização da vibração/radiação do carril
  - palmilhas/mantas resilientes;
  - Minimização da corrugação do carril por meio de esmerilagem acústica;
  - atenuadores sintonizados/*tuned rail dampers* (atenuação da amplitude da vibração ao longo do carril, e logo da radiação sonora, idealmente nas bandas de frequências dominantes).
- Lubrificação de via/modificadores de fricção (*curve squeal noise*);

### **Intervenções no material circulante**

- O material circulante existente pode ser renovado ou substituído por composições renovadas/novas. Estas, em geral, apresentam substanciais reduções de emissão de ruído, devido a melhoramentos a nível das *bogies*, suspensões, freios e rodados.
- Minimização da corrugação das rodas por meio de esmerilagem acústica;
- Modificações no sistema de frenagem (cepos sintéticos K, L, e LL ou sistema de discos);
- rodas perfuradas com anéis de absorção;
- sistemas de absorção sintonizados;
- escudos de blindagem acústica nas rodas;
- modificadores de fricção/lubrificação embarcados (*curve squeal noise*).

### **Intervenções no percurso de transmissão sonora**

- Introdução de barreiras acústicas - dispositivos de atenuação sonora interpostos no percurso de transmissão. As barreiras acústicas são apenas eficazes para atenuação do mecanismo de transmissão por via aérea. O valor da atenuação sonora induzida pela interposição de uma determinada barreira acústica é função não só das suas características físicas como também da posição geométrica relativa entre os elementos intervenientes fonte - barreira acústica - recetor.

### **Manutenção/monitorização de medidas de minoração**

- As medidas de minoração do ruído, tantas as já existentes como aquelas a implementar decorrentes das propostas do presente PA, necessitam de um programa de verificação, monitorização e manutenção regular para garantir a conservação das suas características de perda de inserção ao longo da sua vida útil. As eventuais atividades corretivas de manutenção deverão ser calendarizadas e efetuadas, de modo a garantir a eficácia das medidas ao longo de todo o seu ciclo de vida.

### **Ações junto ao público**

- As medidas consideradas deverão ser contextualizadas numa visão global da gestão da incomodidade e eventuais perturbações sentidas pelas populações devido ao ruído ferroviário. Tal implica um planeamento de um conjunto de ações comunicacionais, de sensibilização e participação pública, que se destinam não só a gerir as emissões de ruído, mas igualmente a perceção do ruído pelas populações equacionada com as vantagens da vizinhança de uma infraestrutura de mobilidade de elevado valor para a vivência quotidiana.

A solução final otimizada revela-se, frequentemente, como resultante da combinação de diferentes alternativas combinadas. Através da acumulação de benefícios parcelares poderão conseguir-se benefícios significativos, a custos porventura razoáveis.

Algumas medidas terão um benefício a curto prazo, na medida em que os seus resultados se farão sentir quase imediatamente após a sua implementação, enquanto que a outras estarão associados benefícios que apenas serão quantificáveis a médio ou, mesmo, a longo prazo.

Como tal, é pertinente considerar um conjunto de ações de comunicação, sensibilização e até participação pública. Estas ações destinam-se não só a comunicar as medidas de minoração/gestão das emissões de ruído, a implementar pela gestora da linha férrea, mas igualmente a contextualizar a perceção do ruído pelas populações. Deste modo, a sensibilização das populações e a comunicação com elas assume um papel fundamental na perceção do ambiente sonoro. Não só as expectativas das populações têm de ser geridas pelos vários *stakeholders* envolvidos (Gestor da Infraestrutura, Operadores/Concessionários, Municípios, Tutela) como os cidadãos têm de entender que o ruído é parte integrante de um ambiente próximo de uma GIF, podendo ser entendido como um indicador da sua atividade e dinâmica económica, se adequadamente gerido.

## 8. Tipologia das soluções propostas

Para a consecução dos objetivos propostos no âmbito do presente PA, redução tanto quanto possível, tendencialmente eliminação, de conflitos com graus de desvio superiores a 3 dB, foram estudadas diversas soluções tendo sido ensaiadas diversas simulações de intervenções na linha. Privilegiaram-se, sempre que possível, as intervenções que atuem na redução de ruído na fonte (via / material circulante).

Neste PA não foram consideradas, por questões de exequibilidade prática, operacional ou económica, ou por não se justificarem, outras medidas tais como a limitação de velocidades de circulação, alteração ao uso dos solos ou o reforço de isolamento sonoro de fachada.

Foi preconizado um conjunto de intervenções diversas, sob a designação de situação futura, em que ações diretas na via e/ou no percurso da transmissão sonora, constituem as medidas de controlo e redução de ruído:

- Atenuadores sintonizados de carril (TRD), em função de necessidade de atenuação das emissões sonoras,
- Barreiras acústicas.

Propõe-se ainda a execução de:

- Programa regular de esmerilagem da via de modo a minimizar o desgaste ondulatório do carril.

Estas medidas são de âmbito global/local.

Note-se que, de acordo com informações prestadas pelo operador CP, está planeada a substituição das composições UTD 592 a *diesel* (serviço regional, inter-regional e internacional) por 12+10 automotoras elétricas, em processo de aquisição. Tal dependerá da concretização da eletrificação dos troços Nine-Valença (Linha do Minho) e Marco-Réguas (Linha do Douro). Embora se preveja que esta ação tenha um impacto positivo no ruído devido ao tráfego ferroviário da Linha do Minho II, tal ação não foi considerada no âmbito do presente PA, devido ao menor peso do tráfego deste tipo composições UTD em relação ao tráfego total da Linha do Minho II.

As medidas de redução das emissões sonoras preconizadas são as que se afiguraram como mais exequíveis do ponto de vista prático, bem como económica e socialmente viáveis, encontrando-se também contempladas nas orientações estratégicas da IP em matéria de política de ambiente.

Para além destas medidas, o plano contempla, ainda

- (i) verificação e monitorização das medidas existentes e a implementar,
- (ii) manutenção de soluções de redução de ruído, conforme apropriado, e
- (iii) comunicação com o público em geral e com os *stakeholders*.

As medidas propostas encontram-se detalhadas de seguida.

### ***Intervenções na linha: atenuadores sintonizados de carril (Tuned Rail Dampers)***

O carril comporta-se como uma barra vibrante (barra “infinita”), apresentando modos de oscilação verticais e horizontais. O decaimento da magnitude dos modos vibratórios induzidos no carril é quantificado pela medição do *track decay rate* do carril em questão, valor que varia com a frequência, expresso em dB/m e medido de acordo com a norma ISO EN-3095.

O decaimento/amortecimento do carril e o grau de acoplamento travessas/carril, determinam a intensidade das vibrações do carril. Estas serão menores num sistema mais rígido, enquanto um sistema com palmilhas/fixadores mais resilientes permite maior intensidade de vibração do carril e, por consequência, maiores emissões sonoras por condução aérea. Na prática, são utilizadas palmilhas de rigidez média, pelo que para minimizar as emissões sonoras devido à vibração do carril, recorre-se a atenuadores sintonizados de carril.

Os atenuadores sintonizados de carril (TRD) são sistemas massa-mola, desenhados de modo a atenuarem a amplitude dos modos de vibração do carril, dissipando energia em determinadas bandas de frequência e como tal reduzindo a emissão sonora resultante das vibrações induzidas no carril. Tal corresponde a um aumento do amortecimento, ou seja, do valor do *Track Decay Rate* do carril. Um aumento para o dobro do *Track Decay Rate* corresponde a uma diminuição em 3 dB do ruído de condução aérea emitido pelo carril.

A Figura 13 ilustra o desempenho deste tipo de solução, ao comparar a emissão sonora (medições a três metros de distância) de um carril não tratado com um carril com TRD (Thompson, 2009).

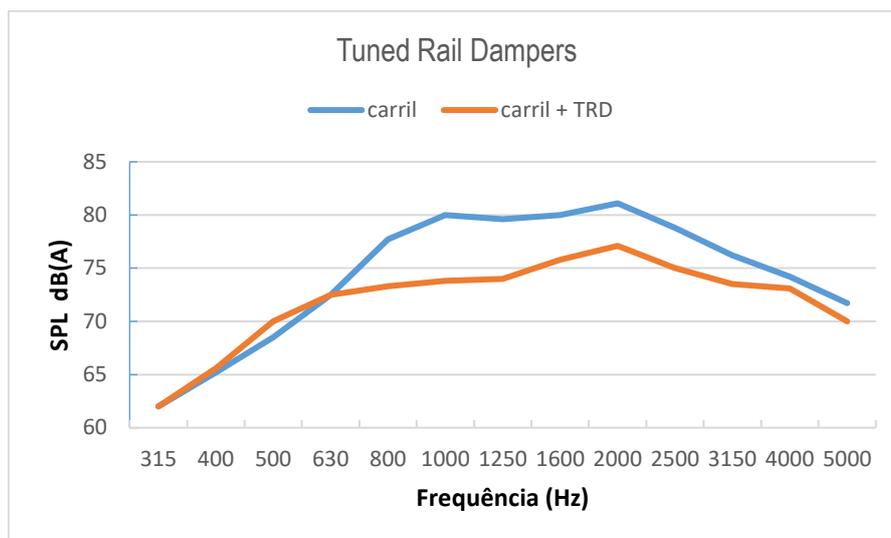


Figura 13. Desempenho de um carril com TRD em relação a um carril não tratado. Atenuação total de 3,8 dB(A).

Na figura 14 podemos observar várias propostas de construtores que seguem o mesmo princípio básico: uma massa rodeada de um elastómero, cujo conjunto é aplicado ao carril.



Figura 14. Atenuadores sintonizados de carril (TRD); esq. TATA/Corus, centro Schrey & Veit, direita STRAILastic\_A.

Os benefícios resultantes da implementação de atenuadores sintonizados nos carris apresentam ganhos variáveis de 3 a 4 dB(A). Os custos da implementação desta tipologia de solução podem considerar-se como razoáveis. Estes valores são suportados por diversos estudos publicados (Thompson, 2008, 2009, 2014; Scossa-Romano, 2012; Dimitriu, 2017). No entanto, note-se que a aplicação deste tipo de solução a troços ou vias quadruplicadas (8 carris) pode revelar-se bastante onerosa.

No presente trabalho, foi adotado um valor conservativo de 3 dB(A) para o ganho de redução de ruído.

Esta solução foi preconizada em troços da linha identificados de acordo com as necessidades locais de atenuação dos níveis sonoros nos recetores sensíveis.

### **Intervenção na linha: esmerilagem do carril**

Sob a ação das cargas dinâmicas das várias composições ferroviárias, a cabeça do carril desenvolve vários tipos de desgaste, um dos quais, o desgaste ondulatorio ou corrugação, é maioritariamente responsável (juntamente com a corrugação da roda) pelo ruído de rolamento emitido.

A metalurgia do carril, dinâmica da via, *mix* de velocidades, cargas dinâmicas e forças de tração, todas parecem ter um efeito no aparecimento do fenómeno de corrugação. Não é realista monitorizar todas estas influências pelo que, a monitorização é efetuada por métodos indiretos (acústicos) e diretos (ao longo da cabeça do carril com equipamento especializado).

A esmerilagem preventiva/corretiva da via férrea (ver figura 15), a ser efetuada de um modo regular, é considerada como uma boa prática de manutenção, permitindo um bom contacto entre a roda/carril e impedindo o agravamento dos defeitos do carril que inevitavelmente decorrem da utilização normal e regular de uma via-ferrea.



Figura 15. Esmerilagem de carris (fonte: [www.fergrupo.pt](http://www.fergrupo.pt)).

A esmerilagem acústica, com menores tolerâncias do que uma esmerilagem corretiva “normal”, é efetuada com um sistema embarcado de discos rotativos e acabamento com esmeril de banda contínua, a baixa velocidade (< 15 km/h).

A corrugação cresce no tempo e torna-se necessário uma planificação de ação regular de esmerilagem, como é sugerido na figura 16.

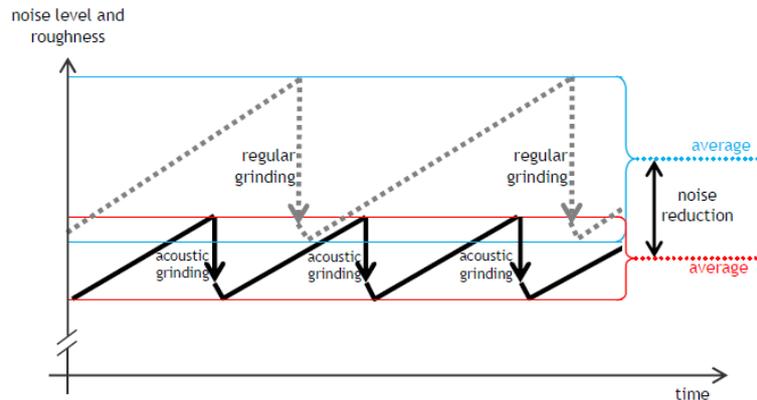


Figura 16. Efeito da esmerilagem de manutenção e da esmerilagem acústica em função do tempo (fonte UIC).

A experiência dos Gestores de Infraestrutura SBB (Suíça) (Scossa-Romano, E., Oertli, J., 2012) e NS (Países Baixos) (Dings, P. C., Dittrich, M. G., 1996), sugere que:

- O efeito máximo de redução do ruído emitido pelo sistema roda/carril proporcionado pela esmerilagem acústica mantém-se durante cerca de quatro semanas. A corrugação aumenta ao longo do tempo com a normal utilização da via.
- Para manter os carris com o mínimo de corrugação/desgaste ondulatório são recomendados intervalos entre 2 a 4 anos para ações de esmerilagem, dependendo do *mix* de material circulante e velocidades praticadas.

Assim, em caso de esmerilagem de carril que apresente um elevado grau de desgaste ondulatório/corrugação, são admitidas reduções da ordem dos 15 a 10 dB(A) com a utilização de composições com frenagem exclusivamente de discos. Para composições com frenagem com cepos sintéticos L ou LL, os ganhos são da ordem dos 10 a 5 dB(A). Finalmente, para composições com frenagem efetuada por cepos normais, a ação de esmerilagem não é tão eficaz, podendo-se assumir ganhos da ordem dos 3 dB(A) ou inferiores.

Note-se que as dimensões do desgaste ondulatório/corrugação relevantes para o ruído de rolamento são da ordem dos 5 aos 500 mm. Corrugação de nível inferior, apelidada de micro-corrugação, é importante para a própria aderência do sistema roda-carril (Thompson, 2009). A existência de corrugação de magnitude apreciável na cabeça do carril negará o efeito, em termos de emissões sonoras, de um sistema de frenagem por discos, o qual ao não atuar na superfície de contacto da roda, mantém-na em bom estado. De facto, a combinação de uma roda apresentando baixa corrugação na sua superfície de contacto com um carril com elevada magnitude de corrugação pode majorar em cerca de 7 dB as

emissões sonoras do sistema roda/carril. Isto em comparação com a situação em que ambos (superfície de contato da roda e cabeça do carril) apresentem valores de corrugação reduzidos (Thompson, 2009).

Tal pode ser observado, a título ilustrativo, na figura 17, a qual apresenta resultados previsionais dos diferentes níveis de ruído de rolamento emitidos por composições ferroviárias com frenagem de discos, mas em função do grau de desgaste ondulatorio da cabeça do carril, a partir do método previsionial de ruído ferroviário CNOSSOS (2012). Para esta simulação, consideraram-se dois carris representativos de duas situações: carril com manutenção regular e magnitude de corrugação pouco elevada e carril apresentando uma magnitude de corrugação elevada e com pouca manutenção. Ambos são combinados com rodas pertencentes a composições com frenagem por discos. A distância à via considerada foi de 7,5 m e a velocidade das composições normalizada a 120 km/h.

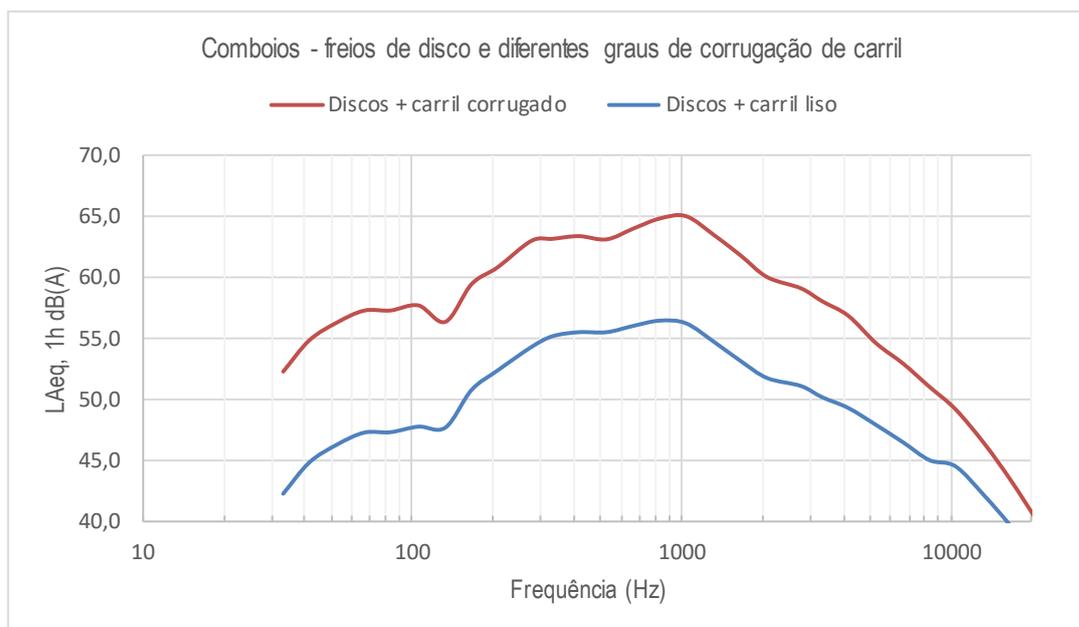


Figura 17. Diferentes níveis sonoros de emissão em função da frequência e para diversos graus de corrugação do carril (CNOSSOS, 2012).

Os valores totais obtidos para o ruído de rolamento das composições (a 7,5 m) são de 74 dB(A), para o sistema de frenagem por discos, com carril apresentando elevada magnitude de corrugação e 66 dB(A) para o sistema de frenagem por discos, mas com carril apresentando baixa magnitude de corrugação. As diferenças estimadas pelo modelo são da ordem dos 7 a 8 dB.

Os benefícios (ou seja, reduções), nas emissões de ruído aéreo, encontram-se bem estabelecidos e confirmados (Thompson, 2008, 2009, 2014; Grassie 2012; Scossa-Romano 2012; Tumavice 2017).

A magnitude da corrugação aumenta no tempo devido à utilização normal da via. Visto existir uma correlação direta entre a magnitude do desgaste ondulatorio e os níveis sonoros emitidos pelo conjunto roda/carril, as ações de esmerilagem corretiva do desgaste ondulatorio de carris deveriam ser efetuadas com alguma regularidade e inseridas em programas de manutenção das medidas de minoração.

Tal garantiria os benefícios oferecidos por este tipo de intervenção, em termos de redução do ruído de rolamento. Esta ação de manutenção periódica é sugerida para a totalidade da extensão da Linha do Minho II.

### ***Intervenções no percurso de transmissão sonora: sistemas de barreiras acústicas***

O valor da atenuação sonora resultante da interposição de uma determinada barreira acústica é função não só das suas características físicas como da posição relativa entre os elementos intervenientes fonte - barreira acústica - recetor. Estas soluções podem permitir reduções significativas nos níveis sonoros do ruído global percebido junto dos recetores situados nas suas zonas de sombra, geralmente com um limite prático de até cerca de 15 dB(A). Podem, no entanto, apresentar importantes impactes negativos a nível visual e paisagístico.

Nas ferrovias, a eficácia de uma barreira é significativamente beneficiada pelo seu posicionamento na maior vizinhança de proximidade possível ao próprio sistema roda-carril, isto é, tão junto à via quanto possível. Deste modo, a barreira poderá assumir uma altura bastante mais reduzida para proporcionar idêntica atenuação acústica, com fortes vantagens económicas e paisagísticas. No entanto, esta solução pode apresentar problemas em termos de interferência e segurança do funcionamento da infraestrutura ferroviária.

Existem algumas barreiras acústicas já implementadas ao longo da Linha do Minho II (não contempladas nos MER) as quais, com eficácia variável, reduzem os níveis de ruído emitidos pela circulação ferroviária nesta Linha. O exemplo da figura 18 apresenta a barreira acústica de painéis acrílicos instalada na Estação de Leandro, sentido descendente.



*Figura 18. Barreira Acústica na zona da Estação de Leandro.*

Na figura 19, podemos observar barreiras acústicas instaladas na área da nova estação de Trofa. Estas barreiras fizeram parte integrante do projeto de execução da referida estação e já se encontram contempladas nos MER da Linha do Minho II.



*Figura 19. Barreiras acústicas na zona da Estação de Trofa: (fonte: google maps).*

Finalmente, verificam-se situações como a documentada na figura 20, em que uma grande proximidade dos recetores sensíveis à linha, têm, muitas vezes, implicações negativas na eficácia das medidas de minimização.



Figura 20. Edifício próximo da linha na zona de Travagem; pode-se observar uma composição UME 3400 do serviço Urbano do operador CP (fonte: google maps).

Como tal, a eficácia das barreiras acústicas pode ser muito variável, dependendo fortemente da geometria em causa e do local de implantação, apresentando reduções variáveis em termos de atenuação sonora, em função das características e necessidades de projeto. A relação eficácia-custo varia de caso para caso.

Esta solução é aplicada na Linha do Minho II, em função com as necessidades locais de atenuação dos níveis sonoros nos recetores sensíveis.

### **Outras ações e intervenções**

Finalmente, deverão ser consideradas medidas que se revelam importantes, a médio e longo prazo, para a eficácia real e percebida das mesmas, tal como a elaboração e execução de programas regulares de manutenção/monitorização das medidas de minoração implementadas (e a implementar) e de ações a desenvolver junto ao público, de modo a promover a *goodwill*.

Os programas de verificação, monitorização e manutenção das medidas de controlo de ruído permitirão mantê-las em bom estado de funcionamento e garantir a manutenção dos graus de perda de inserção projetados. As ações de verificação justificam-se pela exposição das medidas às grandes variações de cargas dinâmicas e às condições meteorológicas exteriores em cada local.

O programa aplicado às barreiras acústicas deverá verificar a consistência da sua instalação, nomeadamente os seus pontos fracos em termos de isolamento sonoro como sejam as junções dos painéis com perfis ou entre painéis (se se tratar de barreira modular de painéis). Estas juntas são normalmente equipadas com materiais do tipo *neoprene* que se degradam com o tempo e com a

exposição aos elementos atmosféricos. Tal degradação pode criar pontes fónicas que irão comprometer seriamente os valores de atenuação sonora que foram projetados. Esta ação de monitorização revestirá a forma de visita técnica e observação e análise pericial no sentido de identificar as juntas e eventuais painéis que necessitem de ser substituídos. A ação não necessita de incluir quaisquer ensaios de acústica. Dado o alargado tempo de vida previsto para este tipo de solução (nunca inferior a 15-20 anos) julga-se suficiente a implementação do programa em cada ciclo de cinco anos.

No caso dos atenuadores de carril (TRD), deve ser previsto um programa anual de verificação e manutenção.

As ações comunicacionais podem incluir (i) a comunicação direta com o público em geral, não só para informar sobre intervenções na via relevantes para a minoração do ruído, mas também para gerir eventuais queixas e reclamações sobre o ruído, e (ii) a manutenção da circulação de informação entre os vários *stakeholders* (operadores, câmaras, público).

A Tabela 5 apresenta um resumo das tipologias de medidas e soluções propostas e dos correspondentes graus de eficácia esperados.

*Tabela 5. Tipologia e eficácia das medidas propostas.*

Soluções	Grupo	Intervenção	Medida de redução de ruído	Eficácia esperada
<b>Métodos diretos</b>	Na fonte	Linha	Atenuadores sintonizados do carril (TRD)	Até 3 dB(A)
			Esmerilagem acústica: (carril com manutenção regular)	Até 5 dB(A)
	No percurso da transmissão sonora (aérea)	-	Barreiras acústicas	Limite prático: cerca de 15 dB(A)
<b>Métodos indiretos</b>	-	Verificação/ Monitorização de medidas Manutenção dos TRD	-	-
	Gestão de incomodidade	Comunicação com o público Informação de ações desenvolvidas	-	-

De notar que os valores de eficácia esperados são adicionados (cumulativamente) em termos de energia, a qual é quantificada por níveis (de forma logarítmica, em dB), pelo que os benefícios parcelares não podem genericamente ser adicionados de forma linear.

Constituindo-se o presente PA como um estudo de viabilidade de soluções minoradoras de ruído, as especificações das várias intervenções e medidas propostas (por ex. extensão, altura) são meramente indicativas, devendo as respetivas soluções técnicas ser alvo de projeto de execução, em sede do qual serão devidamente otimizadas e detalhadas.

## 9. Redução do ruído: intervenções e medidas

### 9.1 Soluções técnicas

Na Tabela 6 são apresentadas as medidas de controlo e de redução do ruído preconizadas para as zonas de intervenção do PA da Linha do Minho II.

*Tabela 6. - Medidas de controlo e de redução do ruído para as zonas de intervenção do PA da Linha do Minho II.*

ID Zona	Município	Troço de Linha	Medida de redução de ruído	Obs.
1	Valongo	Toda a linha	Esmerilagem periódica dos carris	Minoração do ruído de rolamento
2	Maia			
3, 4, 5, 6	Trofa			
7	V. N. de Famalicão			
1	Valongo	8+830 / 8+930	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 3,5 m
1	Valongo	8+930 / 9+025	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 4,0 m
1	Valongo	9+020 / 9+125	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 3,5 m
1	Valongo	9+070 / 9+145	Barreira Acústica*	Lado descendente; h = 2,0 m
1	Valongo	9+170 / 9+270	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 4,0 m
1	Valongo	9+310 / 9+370	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 3,0 m
1	Valongo	9+325 / 9+525	Atenuadores sintonizados de carril (Tuned Rail Dampers)	Ambas as vias
1	Valongo	9+475 / 9+585	Barreira Acústica (três troços)	Lado ascendente; h = 3,5 m
1	Valongo	9+585 / 9+610		Lado ascendente; h = 4,0 m
1	Valongo	9+610 / 9+960		Lado ascendente; h = 3,5 m
1	Valongo	9+620 / 9+960	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 3,5 m
1	Valongo	9+850 / 9+975	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 3,0 m
1	Valongo	9+920 / 10+170	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 2,5 m
2	Maia	11+310 / 11+370	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 3,5 m
2	Maia	11+375 / 11+440	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 4,0 m

ID Zona	Município	Troço de Linha	Medida de redução de ruído	Obs.
3	Trofa	14+900 / 15+140	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 3,0 m
4	Trofa	16+550 / 16+630	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 3,0 m
4	Trofa	16+695 / 16+815	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 3,0 m
5	Trofa	18+215 / 18+375	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 3,5 m
5	Trofa	18+285 / 18+410	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 4,0 m
6	Trofa	23+575 / 23+645	Atenuadores sintonizados de carril (Tuned Rail Dampers)	Ambas as vias
7	V. N. de Famalicão	24+320 / 24+425	Barreira Acústica (dois troços)	Lado descendente; h = 4,0 m
7	V. N. de Famalicão	24+425 / 24+575		Lado descendente; h = 3,0 m
7	V. N. de Famalicão	24+670 / 24+780	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 4,0 m
7	V. N. de Famalicão	24+715 / 24+785	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 4,0 m
7	V. N. de Famalicão	25+870 / 26+185	Barreira Acústica (dois troços)	Lado ascendente; h = 3,0 m
7	V. N. de Famalicão	26+185 / 26+260		Lado ascendente; h = 3,5 m
7	V. N. de Famalicão	25+875 / 26+230	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 3,0 m
1	Valongo	-	Manutenção/monitorização das medidas implementadas	-
2	Maia			
3, 4, 5, 6	Trofa			
7	V. N. de Famalicão			
-	-			
-	-	-	Comunicação, informação	Gestão da incomodidade sentida pelas populações

\*acréscimo a barreira existente

## 9.2 Análise de eficácia

As figuras 21 a 28, que apresentam extratos dos mapas de conflitos para cada uma das zonas, mostram a exposição ao ruído dos edifícios situados no território de cada zona envolvente da Linha do Minho II com usos do solo identificados como sensíveis ao ruído (edifícios de habitação e edifícios de serviços de saúde), ilustrando a situação atual e a situação futura prevista, após implementação das medidas identificadas para as diferentes zonas de intervenção consideradas.

As figuras revelam os benefícios em termos de redução de ruído conseguida pela adoção das correspondentes medidas.

Foi adotado para o edificado o código de cores correspondente aos conflitos:

- |   |   |
|---|---|
|  | Edifícios com usos não sensíveis ou de construção recente   |
|  | Edifícios com usos sensíveis sem conflitos                  |
|  | Edifícios com usos sensíveis com conflito $\leq 3$ dB       |
|  | Edifícios com usos sensíveis com conflito entre 3 dB e 5 dB |
|  | Edifícios com usos sensíveis com conflito $> 5$ dB          |



Figura 21. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 1 (Ermesinde - Travagem).



Figura 22. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 1 (Ermesinde – Travagem).

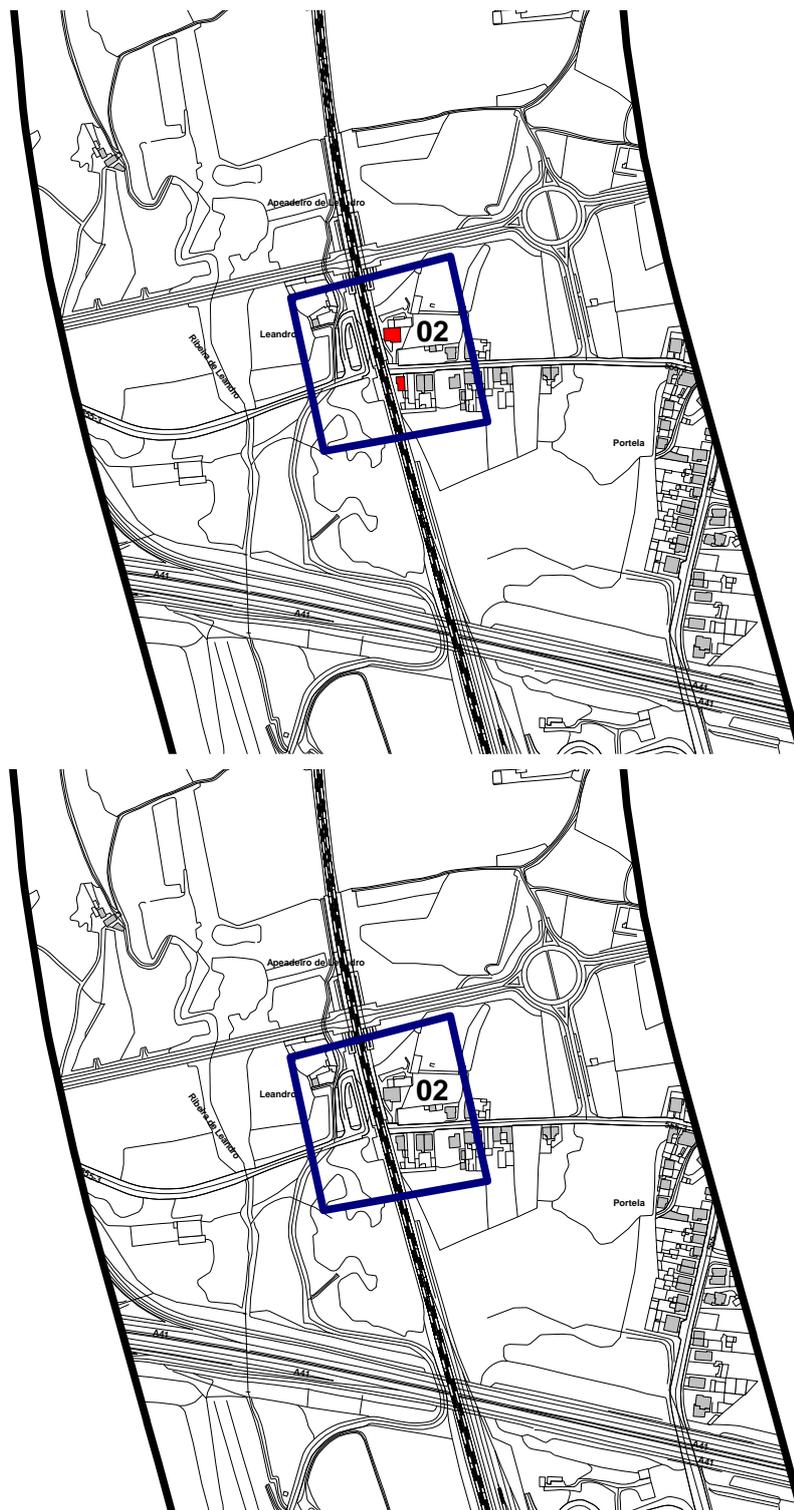


Figura 23. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 2 (Leandro).



Figura 24. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 3 (São Romão)

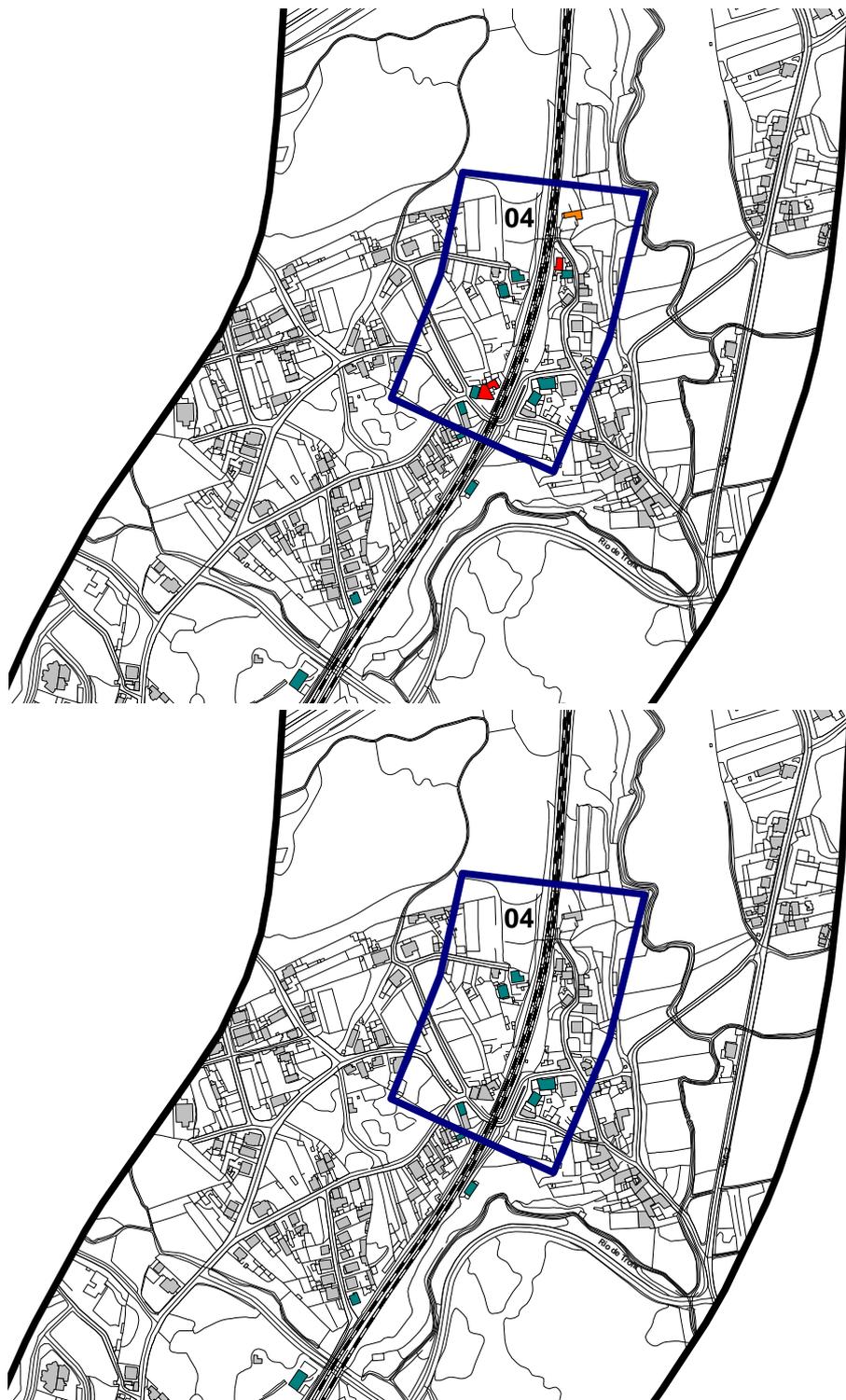


Figura 25. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 4 (Outeirô).

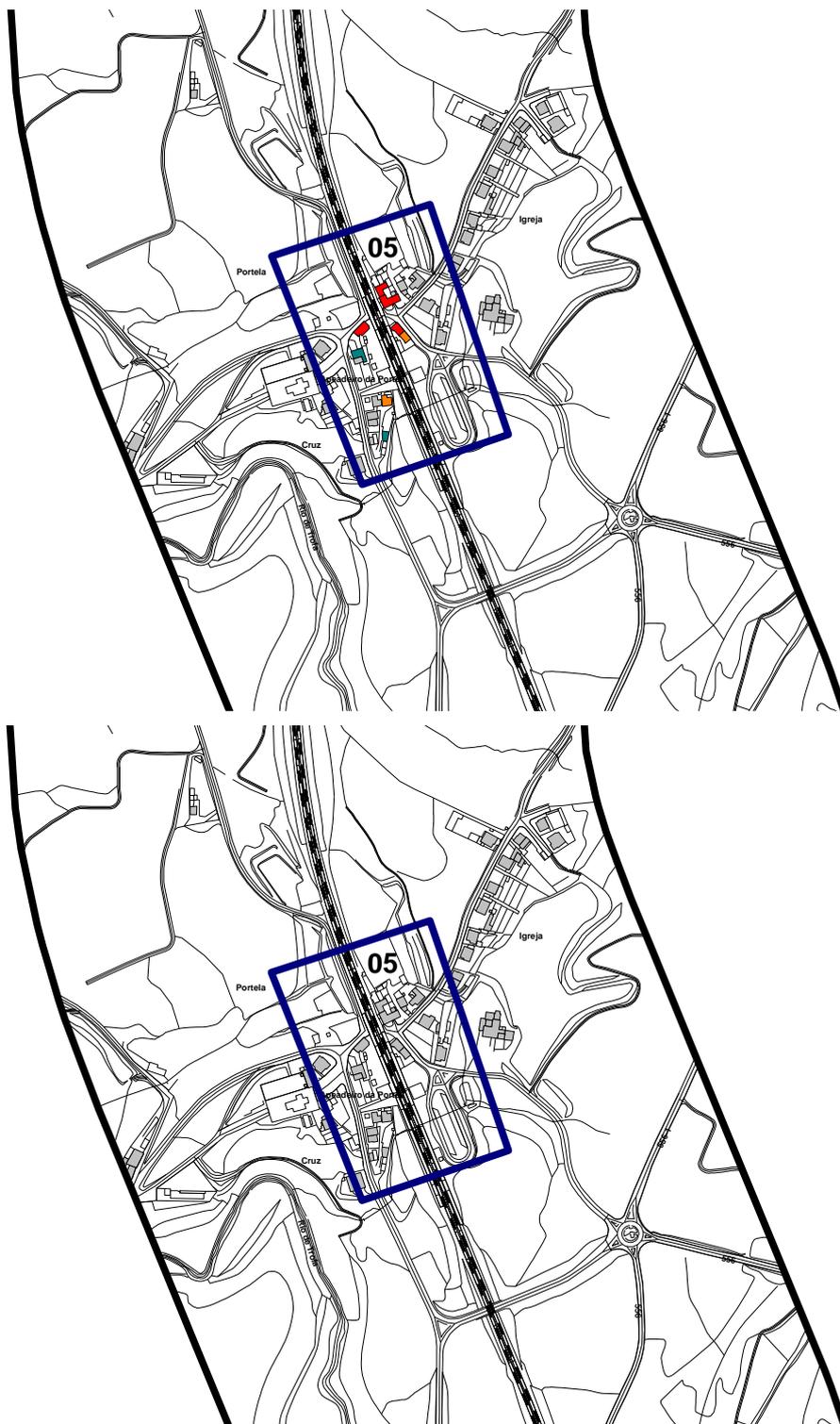


Figura 26. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 5 (Portela).

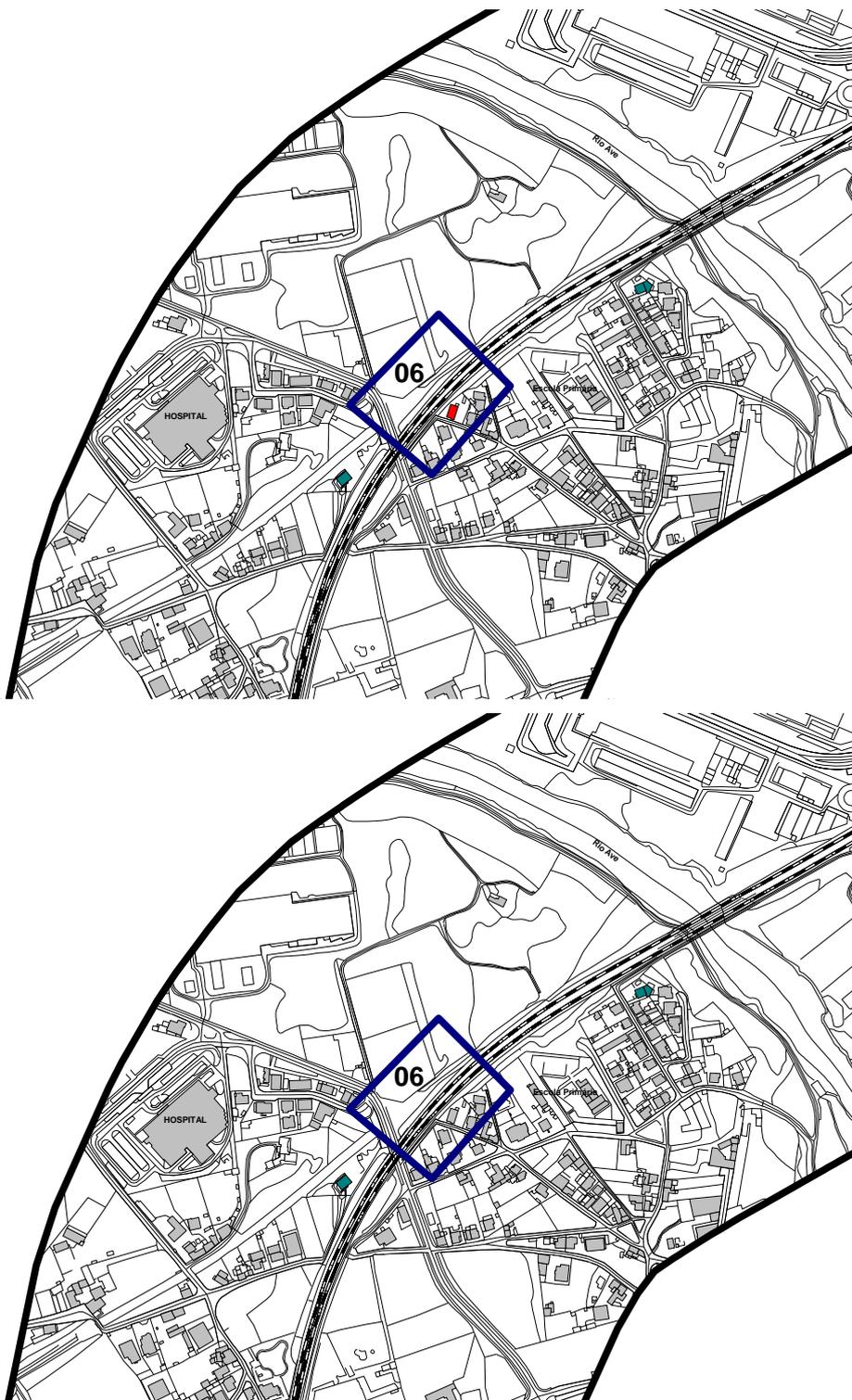


Figura 27. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 6 (Trofa).

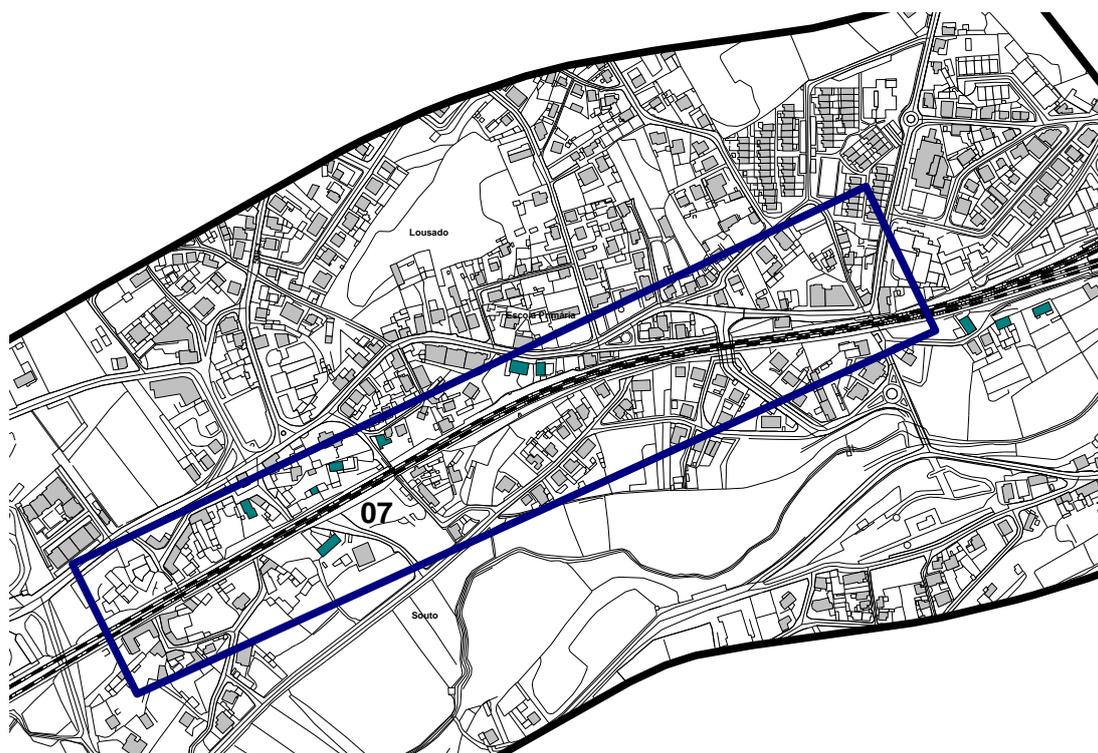
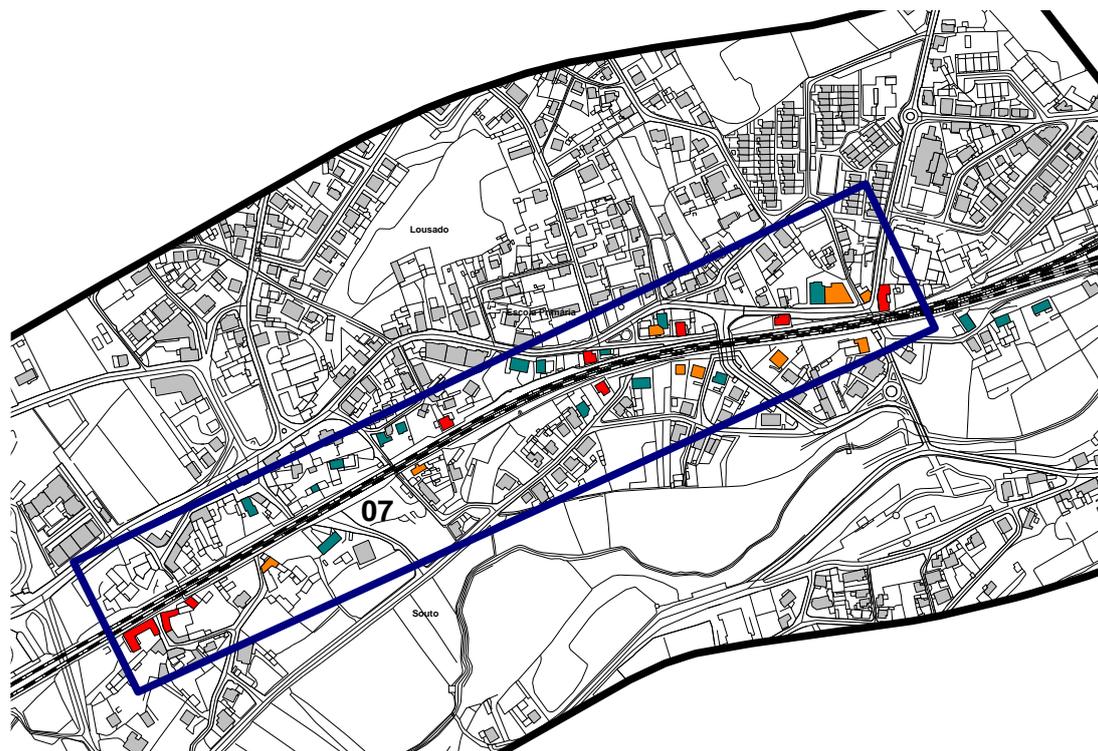


Figura 28. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura –Zona 7 (Lousado).

As Tabelas 7 e 8 revelam a eficácia das ações preconizadas, em termos da redução do número de população residente (unidades) e do edificado, com usos sensíveis ao ruído, expostos às três classes de conflito. Os valores apresentados referem-se à população estimada e ao edificado com uso sensível contabilizados nas várias zonas de intervenção.

No caso da situação futura, como se pode constatar pelos números indicados nas tabelas, o número de pessoas residentes na área da classe de maior conflito ( $> 5$  dB) é reduzido em 99%, enquanto que na área da classe de conflito intermédio (entre 3 e 5 dB) é reduzido em 97%, ou seja, deixa de haver praticamente residentes expostos aos níveis sonoros mais elevados. O número total de pessoas residentes nestas duas classes passa, assim, de 432 para um valor residual de 6 (redução de 99%). No total, o número de pessoas residentes nas três classes de conflito passa de 663 para 96, o que corresponde a uma redução de 86%.

Os benefícios em termos da redução dos números da população residente exposta a níveis sonoros excessivos demonstram que as ações de intervenção preconizadas podem considerar-se como muito eficazes.

Em termos do edificado sensível exposto ao ruído, o número de edifícios na classe de maior conflito ( $> 5$  dB) passa de 48 para 1 (redução de 98%), enquanto que na classe de conflito intermédio (entre 3 e 5 dB) passa de 27 também para 1 (redução de 96%). O número de edifícios na classe de menor conflito ( $\leq 3$  dB) tem uma redução de 55%. No total, o número de edifícios expostos nas três classes de conflito passa de 126 para 25, o que corresponde uma redução de 80%.

O gráfico da figura 29 ilustra a eficácia das medidas de minoração preconizadas, em termos de redução do número total de população exposta a níveis de ruído ferroviário superiores em 3 dB em relação ao valor limite, quando comparada com a situação existente na Linha do Minho II.



Figura 29. Redução do número da população residente exposta após implementação das medidas preconizadas. Contabilização para todas as zonas de intervenção.

Tabela 7. – População residente (em unidades), exposta às três classes de conflito, para a situação existente e para a situação futura com as medidas de redução de ruído.

ID Zona	Município	Início / fim (pk)	Situação Existente			Situação Futura		
			Popul. exist ≤ 3 dB	Popul. exist > 3 - ≤ 5 dB	Popul. exist. > 5 dB	Popul. prev. ≤ 3 dB	Popul. prev. > 3 - ≤ 5 dB	Popul. prev. > 5 dB
1	Valongo	8+870 / 10+610	141	64	221	43	4	2
2	Maia	11+290 / 11+450	0	0	8	0	0	0
3	Trofa	14+900 / 15+100	4	18	0	3	0	0
4	Trofa	16+525 / 16+810	30	3	11	25	0	0
5	Trofa	18+170 / 18+430	2	2	12	0	0	0
6	Trofa	23+540 / 23+670	0	0	2	0	0	0
7	V. N. de Famalicão	24+360 / 25+240	54	49	42	19	0	0
Totais parciais			231	136	296	90	4	2
Totais globais			663			96		

Tabela 8. Número de edifícios, com usos sensíveis ao ruído, exposto às três classes de conflito para a situação existente e para a situação futura com as medidas de redução de ruído.

ID Zona	Município	Início / fim (pk)	Situação Existente			Situação Futura		
			Edif. exist ≤ 3 dB	Edif. exist > 3 - ≤ 5 dB	Edif. exist. > 5 dB	Edifl. prev. ≤ 3 dB	Edif. prev. > 3 - ≤ 5 dB	Edif. prev. > 5 dB
1	Valongo	8+870 / 10+610	25	11	29	9	1	1
2	Maia	11+290 / 11+450	0	0	2	0	0	0
3	Trofa	14+900 / 15+100	3	4	0	2	0	0
4	Trofa	16+525 / 16+810	7	1	3	5	0	0
5	Trofa	18+170 / 18+430	2	2	4	0	0	0
6	Trofa	23+540 / 23+670	0	0	1	0	0	0
7	V. N. de Famalicão	24+360 / 25+240	14	9	9	7	0	0
Totais parciais			51	27	48	23	1	1
Totais globais			126			25		

### 9.3 Informações financeiras

Para as medidas consideradas no conjunto de intervenções denominado de situação futura, nomeadamente (i) os atenuadores sintonizados de carril (TRD) e (ii) as barreiras acústicas, são apresentadas na tabela 9 estimativas de custos de implementação. Por não se dispor de informação, não é apresentada estimativa correspondente ao programa de esmerilagem dos carris.

*Tabela 9. Estimativa financeira para implementação das medidas preconizadas.*

Medida de redução de ruído	início [pk]	fim [pk]	extensão [m]	Altura [m]	via	custo/m (€)	Custo total (€)
Atenuadores sintonizados de carril (TRD)	9+325	9+525	200	-	Ambas as vias (4 carris)	300	240 000
	23+575	23+645	70	-	Ambas as vias (4 carris)	300	84 000
<b>Total TRD</b>							<b>324 000 €</b>
Medida de redução de ruído	início [pk]	fim [pk]	extensão [m]	Altura [m]	via	custo/m <sup>2</sup> (€)	Custo total (€)
Barreira Acústica	8+830	8+930	100	3,5	Lado ascendente	140	49 000
Barreira Acústica	8+930	9+025	95	4,0	Lado descendente	140	53 200
Barreira Acústica	9+020	9+125	105	3,5	Lado ascendente	140	51 450
Barreira Acústica	9+070	9+145	75	2,0	Lado descendente	140	21 000
Barreira Acústica	9+170	9+270	100	4,0	Lado ascendente	140	56 000
Barreira Acústica	9+310	9+370	60	3,0	Lado ascendente	140	25 200
Barreira Acústica	9+475	9+585	110	3,5	Lado ascendente	140	53 900
Barreira Acústica	9+585	9+610	25	4,0	Lado ascendente	140	14 000
Barreira Acústica	9+610	9+960	350	3,5	Lado ascendente	140	171 500
Barreira Acústica	9+620	9+960	340	3,5	Lado descendente	140	166 600

Barreira Acústica	9+850	9+975	125	3,0	Lado ascendente	140	52 500
Barreira Acústica	9+920	10+170	250	2,5	Lado descendente	140	87 500
Barreira Acústica	11+310	11+370	60	3,5	Lado descendente	140	29 400
Barreira Acústica	11+375	11+440	65	4,0	Lado descendente	140	36 400
Barreira Acústica	14+900	15+140	240	3,0	Lado descendente	140	100 800
Barreira Acústica	16+550	16+630	80	3,0	Lado ascendente	140	33 600
Barreira Acústica	16+695	16+815	120	3,0	Lado descendente	140	50 400
Barreira Acústica	18+215	18+375	160	3,5	Lado ascendente	140	78 400
Barreira Acústica	18+285	18+410	125	4,0	Lado descendente	140	70 000
Barreira Acústica	24+320	24+425	105	4,0	Lado descendente	140	58 800
Barreira Acústica	24+425	24+575	150	3,0	Lado descendente	140	63 000
Barreira Acústica	24+670	24+780	110	4,0	Lado descendente	140	61 600
Barreira Acústica	24+715	24+785	70	4,0	Lado ascendente	140	39 200
Barreira Acústica	25+870	26+185	315	3,0	Lado ascendente	140	132 300
Barreira Acústica	26+185	26+260	75	3,5	Lado ascendente	140	36 750
Barreira Acústica	25+875	26+230	355	3,0	Lado descendente	140	149 100
<b>Total Barreiras</b>							<b>1 741 600 €</b>
<b>Total Medidas de redução de ruído</b>							<b>2 065 600 €</b>

Estas soluções importam em, aproximadamente, 2 milhões e 65 mil de euros.

Para o programa de manutenção dos atenuadores sintonizados de carril, com o ciclo de vida útil (LCC) esperado da ordem dos 20 anos (UIC 2013), prevê-se um custo de manutenção anual de 4 000 € para a totalidade da extensão de via intervencionada.

Para o programa de verificação e monitorização das barreiras acústicas estima-se um valor para os cinco anos do plano de cerca de 4 000€.

Os valores apresentados serão acrescidos de Imposto de Valor Acrescentado (IVA) à taxa legal vigente na altura.

## 10. Planeamento das ações

### 10.1 Hierarquização temporal

As obrigações decorrentes do atual enquadramento legal, levaram a IP a elaborar os MER da GIF Linha do Minho II com o objetivo de dispor de um diagnóstico da situação acústica existente. O presente PA vem definir um conjunto de ações concertadas para uma melhoria continuada e sustentada do ambiente sonoro na envolvente desta GIF.

A otimização do conjunto das propostas e seus resultados passa por uma hierarquização das intervenções, cuja adoção tem de ser balizada não só pelos benefícios esperados e pelos aspetos práticos e económicos da sua execução mas igualmente por eventuais aspetos funcionais que envolvam sequências de operação bem como pelos resultados de novas avaliações, tendo em conta o curto prazo (cinco anos) de um plano que envolve ações cuja execução pode revelar-se complexa para tal período.

O período de cinco anos do plano poderá ser dividido em duas fases: a primeira correspondente aos primeiros três anos e a segunda aos dois anos subsequentes. Nesta segunda fase, será realizado o próximo diagnóstico, através da execução do MER atualizado.

Na primeira fase, nos primeiros três anos após a aprovação do PA, serão executadas as seguintes ações:

- a) Instalação das medidas preconizadas:
  - Atenuadores sintonizados de carril;
  - Barreiras acústicas;
- b) Ações de verificação e monitorização das medidas de controlo de ruído já implementadas
- c) Ações de sensibilização e informação sobre o ruído para a comunidade em geral.

A segunda fase, correspondente aos dois anos seguintes, compreenderá as seguintes ações:

- a) Implementação de programa de esmerilagem periódica dos carris
- b) Programa de manutenção dos atenuadores sintonizados de carril (anual)
- c) Continuidade das ações de sensibilização e informação.

## 10.2 Ação estratégica a médio/longo prazo

As ações propostas neste PA, aqui identificadas, detalhadas e planificadas resultam de uma análise exaustiva e detalhada de potenciais tipologias de medidas e estratégias direcionadas para gestão, controlo e redução do ruído gerado por uma GIF, em termos de benefícios, de exequibilidade prática e funcional e de custos. Foram estudadas, no âmbito da elaboração do presente PA as práticas correntes e bem-sucedidas em matéria de controlo, redução e gestão do ruído a nível europeu, integrando o conhecimento e experiência de situações semelhantes, seus benefícios e custos.

As medidas de redução de ruído, especificamente propostas no âmbito do presente PA da Linha do Minho II, serão implementadas no curto a médio prazo. Devem integrar-se no contexto da política ambiental da IP para a promoção da proteção ambiental e desenvolvimento sustentável. A gestão ambiental da IP fica assim orientada para todo o ciclo de vida das infraestruturas.

De facto, embora as ações previstas no âmbito da situação futura sejam recomendadas para implementação a curto prazo, é reconhecido que a sua execução prática poderá ultrapassar o curto prazo do presente plano, essencialmente por razões de ordem prática ou orçamental. Os benefícios em termos de ambiente sonoro da sua implementação são bem patentes pelo que tais medidas integram a estratégia a médio/longo prazo da IP.

A estratégia de médio/longo termo da IP passa, ainda, pela manutenção das condições de bom ambiente sonoro na sua envolvente, através dos seus programas de verificação e monitorização regular das soluções de controlo/redução de ruído e de comunicação com as populações. O programa de monitorização das medidas será implementado em cada ciclo de cinco anos para garantia de boa conservação e manutenção das perdas de inserção preconizadas em cada local.

Também num prazo temporal mais dilatado, a corrente operação e manutenção de uma GIF implica diversas interações com *stakeholders* externos, como seja a resposta a solicitações sobre matérias ambientais, com realce para a gestão do ruído.

Mesmo antes de respeitar escrupulosamente a legislação vigente e os diferentes regulamentos que daí advém, a IP está consciente dos problemas de compreensão pela população não só dos vários aspetos legais, mas também dos benefícios a médio/longo prazo das ações de redução de ruído. A IP encontra-se empenhada em ações de pedagogia no que respeita às populações afetadas pelo ruído ferroviário, a incluir nos seus projetos de desenvolvimento e de modernização.

As ações comunicacionais, de sensibilização e de participação pública destinam-se não só a gerir as emissões de ruído, mas igualmente a perceção do ruído pelas populações equacionada com as vantagens da vizinhança de uma infraestrutura de mobilidade de elevado valor para a vivência quotidiana.

A elaboração de folhetos informativos (em suporte papel ou digital) poderá acompanhar estas ações a fim de serem mais eficazes. A isto se pode acrescentar a implementação de sítio na Internet que facilite e agilize a interação do público com a IP.

As ações informativas serão estendidas às populações com campanhas de informação sobre o plano de ação de ruído da IP, a partir dos resultados dos mapas de ruído e das ações de monitorização e sobre as características sonoras dos ambientes urbanos/suburbanos/periurbanos da envolvente da GIF, no sentido das populações melhor entenderem o conceito da perceção sonora ambiental.

Ao estabelecer esta rede de informação, a IP tem a intenção de criar um ambiente de transparência perante as populações afetadas pelo ruído resultante da utilização da GIF que permitirá uma maior compreensão dos esforços, por parte da IP, em minorar os incómodos e perturbações sofridos pelas populações expostas. Como objetivo último, estas poderão revelar-se potencialmente mais tolerantes com futuros aumentos da intensidade de exploração da infraestrutura ferroviária.

A IP continuará a acompanhar, em articulação com Operadores e Câmaras Municipais afetadas, a robustez e acessibilidade do atual processo de comunicação de solicitações/reclamações no âmbito do ruído gerado pelas várias operações ferroviárias.

Podem-se equacionar futuras ações de acompanhamento, a estruturar no longo prazo, consoante justificável, como sejam:

- Inquirir sobre a resposta das comunidades/populações (grau de incomodidade) no que respeita ao ruído de origem ferroviário;
- Inquirir sobre a relevância/papel das emissões sonoras devido às GIF no âmbito de uma caracterização da paisagem sonora envolvente da linha.

### 10.3 Monitorização da implementação do PA

A execução do presente PA resultará numa substancial diminuição da extensão das linhas isofónicas correspondentes ao ruído de circulação ferroviária, e, como tal, da população exposta ao ruído ferroviário. As zonas de vizinhança da Linha do Minho II exibem numa considerável parte da sua extensão uma concorrência com outras fontes, especificamente devido à circulação rodoviária. O objetivo do PA constitui-se na diminuição da contribuição ferroviária para o ruído global. O número de pessoas expostas a tal contribuição constitui então a métrica principal para avaliação dos benefícios recolhidos com a execução do PA.

Os prazos de execução de algumas medidas podem ser extensos, mas importará no final do prazo avaliar as resultantes alterações no ambiente sonoro e na exposição das populações. Tal poderá ser conseguido através da próxima fase de mapeamento de ruído (MER) que ocorrerá durante o período final de vigência do plano. Deste modo, o PA do próximo ciclo será balizado pelos resultados comparativos dos MER, tendo em conta eventuais alterações de tráfego, se for o caso.

Os MER do próximo ciclo constituirão um diagnóstico da situação do ambiente sonoro atualizada e darão conta dos benefícios introduzidos pelas medidas entretanto implementadas.

## 11. Quadro resumo

O Quadro seguinte resume todas as ações tendentes a reduzir o ruído ferroviário resultante da exploração da Linha do Minho II.

Nº	Ação	Calendarização
1	Intervenção no sistema de frenagem dos vagões de mercadorias: substituição dos cepos de ferro fundido por cepos sintéticos	Implementado
2	Barreira acústica (Norte de Ermesinde, sentido descendente)	Implementado
3	Barreira acústica (Estação de Leandro, sentido descendente)	Implementado
4	Implementação de barreiras acústicas (novas)	Planeado
5	Instalação de atenuadores sintonizados de carril ( <i>Tuned Rail Dampers</i> )	Planeado
6	Esmerilagem periódica dos carris	Planeado
7	Programa de verificação e monitorização das medidas de controlo de ruído implementadas	Planeado
8	Programa de manutenção dos atenuadores sintonizados de carril	Planeado
9	Circulação de Informação entre os vários <i>stakeholders</i> (Gestor de infraestrutura, Operadores, Câmaras, Tutela)	Planeado
10	Estabelecimento de procedimento otimizado de gestão de queixas e reclamações de ruído	Planeado
11	Desenvolvimento de plataformas de informação ao público e à comunidade técnica sobre ruído ferroviário e das ações para o seu combate e gestão	Planeado
12	Informação às populações e ao público em geral dos resultados da implementação das medidas previstas no PA	Planeado
13	Elaboração regular de mapas de ruído para diagnóstico do ambiente sonoro na envolvente da Linha do Minho II (Mapas Estratégicos de Ruído, no âmbito do Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho)	Implementado / Planeado

## Bibliografia

Alarcão, D. e Bento Coelho, J. L. (2008), *Modelação de ruído de tráfego ferroviário*, Proc. Congresso Acústica 2008, V Congresso Ibérico de Acústica, XXXIX Congresso Espanhol de Acústica TECNIACÚSTICA 2008.

Alarcão, D. e Bento Coelho, J. L. (2009), *The adaptation of the interim calculation method for railway noise to the Portuguese rolling stock*, Proc. EURONOISE 2009.

Alarcão, D. e Bento Coelho, J. L. (2013), *An experimental assessment on the performance of fixed rail curve squealing noise mitigation*, Noise Control Engineering Journal, J. 61 (6).

Altenbaher, B., Goltnik, D. e Rosi, B. (2015), *Railway Noise Reduction by the Application of CHFC material on the rail*, Transport Problems/Problemy Transportu V. 10, Issue 2, 5-14.

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (1998), *Linee guida per l'elaborazione di piani comunali di risanamento acustico*, ANPA, Fevereiro 1998.

Agência Portuguesa do Ambiente (2011), *Diretrizes para Elaboração de Mapas de Ruído*, versão 3, Dezembro 2011.

Autoridade da Mobilidade e dos Transportes (2019), *Ecossistema Ferroviário Português 2017*, Fevereiro 2019.

Carvalho, J. et al. (2018), *Eco sustainable Rail – Valorisation of Mixed Plastics in the Development of Eco-Sustainable Railways*, European Journal of Sustainable Development, 7,6, 489-495, 2018.

Comissão das Comunidades Europeias, COM (1996), Livro Verde da Comissão Europeia, *Futura Política de Ruído*, 1996.

Comissão das Comunidades Europeias, COM (2011), Livro Branco da Comissão Europeia (2011), *Roteiro do espaço único europeu dos transportes*, 2011.

Declaração de Rectificação nº18/2007 de 16 de Março, que retifica o Decreto-Lei n.º 9/2007, do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Decreto-Lei n.º 146/2006 de 31 de julho, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho de 2002 relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, retificado pela Declaração de Retificação n.º 57/2006 de 31 de agosto.

Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, que aprova o Regulamento Geral do Ruído e revoga o regime legal da poluição sonora, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro.

Decreto-Lei n.º 278/2007 de 1 de Agosto, que altera o Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, que aprova o Regulamento Geral do Ruído.

Decreto-Lei n.º 316-A/2019 de 6 de setembro, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva (UE) 2015/996 da Comissão, de 19 de maio de 2015, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, alterando o Anexo II do Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de julho.

DHV B.V. (2010), *The Railway Noise Bonus: discussion paper on the noise annoyance correction factor*, prepared for the International Union of Railways (UIC), Paris.

Dings, P. C. e Dittrich, M. G. (1996), *Roughness on Dutch Railway Wheels and Rails*, Journal of Sound and Vibration, 193(1), 103-112.

Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho de 2002 relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente.

Dumitriu, M. e Cruceanu, I. (2017), *On the Rolling Noise Reduction by Using the Rail Damper*, Journal of Engineering Science and Technology Review 10(6), 87-95.

European Commission (1999), *Cost Study on Noise Mapping and Action Planning*, DGXI D.3 Urban Environment, COWI.

European Commission (2012), *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSUS-EU)*, Report EUR 25379 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 180 pp.

European Environment Agency (2014), *Noise in Europe 2014*, EEA Report No. 10/2014.

European Environment Agency (2017), *Noise in Europe 2017: updated assessment*, ETC/ACM Technical Paper 2016/13.

European Environment Agency/EPA Network (2018), *Decision and cost/benefit methods for noise abatement measures in Europe*: M+P BAFU 15.02.1.

European Parliament Policy Department (2012), *Reducing Railway Noise Pollution*. Produced for the European Parliament's Committee on Transport and Tourism Environment by the Directorate-General for Internal Policies, Brussels.

Ferreira, A. e Bento Coelho, J. L. (2009), *Critérios para a análise de relações exposição-impacte do ruído de infraestruturas de transporte*, CAPS/IST / Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

Grassie, S. L. (2012), *Rail irregularities, corrugation and acoustic roughness: characteristics, significance and effects of reprofiling*, Proc IMechE, Part F: J Rail Rapid Transit 2012; 226(5): 542–557.

International Union of Railways UIC (2011), *Exploring bearable noise limits and ceilings for the railways: part I*. UIC001-01-15, dBvision, 2/108.

International Union of Railways UIC (2013), *Railway Noise Technical Measures Catalogue*, UIC003-01-04fe, dBvision, May 2013.

Lewis, R. e Olofsson, U. (2009), *Wheel–Rail Interface Handbook*, Woodhead Publishing Limited: UK.

Lercher, P. et al. (2013), *Psychoacoustic assessment of railway noise in sensitive areas and times: is a railway bonus still appropriate?* Proc. INTER-NOISE Vol. 247, N°2, 5900-5907.

Miedema, H. e Oudshoorn, C. (2001), *Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and their Confidence Intervals*, Environmental Health Perspectives, vol. 109, n°4, pp 409-416.

Miedema, H. (2002), *Relationship between exposure to single or multiple transportation noise sources and noise annoyance*, Technical Meeting on exposure-response relationships of noise on Health, WHO-Europe, Bonn, Alemanha.

Nieuwenhuizen, E. e Yntema, N. (2018), *The effect of close proximity, low height barriers on railway noise*, Proc. Euronoise 2018 Crete, 1375-1379.

Popp C. (2000), *Communicating noise to the public without talking in technical jargon*, Proc. INTERNOISE 2000, 4-2241.

Pieren, R. et al. (2017), *Auralization of railway noise: Emission synthesis of rolling and impact noise*. *Applied Acoustics* 127 (2017): 34–45.

Regulamento Geral do Ruído, Decreto-Lei n.º 9/2007, 17 de janeiro de 2007, retificado pela Declaração de Rectificação n.º 18/2007 de 16 de março.

Regulamento (UE) No 1304/2014 DA COMISSÃO de 26 de Novembro de 2014 relativo à especificação técnica de interoperabilidade para o subsistema «material circulante – ruído» e que revoga a Decisão 2011/229/UE, *Jornal Oficial da União Europeia*, L 356/421.

Scossa-Romano, E. e Oertli, J. (2012), *Rail Dampers, Acoustic Rail Grinding, Low Height Noise Barriers: A report on the state of the art*. Produced for the Schweizerische Bundesbahnen SBB/UIC, Bern.

Science for Environment Policy (2017), *Noise abatement approaches*. Future Brief 17. Produced for the European Commission DG Environment by the Science Communication Unit, UWE, Bristol. Disponível em: <http://ec.europa.eu/science-environment-policy>.

The SILENCE European Project (2008), *Practitioner Handbook for Local Noise Action Plans*, 6th Framework Programme. Disponível em <http://www.noiseineu.eu/en/3527-a/homeindex/file?objectid=3161&objectypeid=0>.

Thompson, D. J. (2008), *A continuous damped vibration absorber to reduce broad-band wave propagation in beams*, *Journal of Sound and Vibration* 311 824–842.

Thompson, D. J. (2009), *Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control*, Elsevier: Oxford.

Thompson, D. J. (2014), *Railway Noise and Vibration: The Use of Appropriate Models to Solve Practical Problems*, Proc. ICSV21 2014.

Tumavice, A. et al. (2017), *Effectiveness analysis of railway noise mitigation measures*, GRADEVINAR, 69 (2017) 1, 41-51. Disponível em: <http://doi.org/10.14256/jJCE.177.2016>.

de Vos, P. (2016), *Railway Noise in Europe, State of the Art Report*, prepared for the International Union of Railways (UIC), Paris.

de Vos, P. e van Leeuwen, H. J. A. (2018), *Remaining Research Topics for Railway Noise Control*, Proc. Euronoise 2018 Crete, 1001-1005.

World Health Organization (2018), *Environmental Noise Guidelines for the European Region (2018)*, WHO - Regional Office for Europe.