



**FCTUC** DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

# **Migração de bitola de via estreita para via larga, consequências técnicas e operacionais**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil  
na Especialidade de Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação

**Autor**

**Fernanda de Jesus Viana Lopes Rodrigues**

**Orientador**

**Adelino Jorge Lopes Ferreira**

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correcções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

**Coimbra, Janeiro, 2012**

## Agradecimentos

Durante a realização desta dissertação, houve um conjunto de pessoas cujo apoio foi fundamental para conseguir realizar o objectivo a que me propus. Como tal, gostaria de agradecer a todos aqueles que de forma directa ou indirecta contribuíram para a realização deste objectivo.

Em particular, gostaria de expressar o meu apreço e gratidão às seguintes pessoas:

Ao Senhor Professor Doutor Adelino Jorge Lopes Ferreira, agradeço toda a tolerância e perseverança no que concerne ao ritmo de elaboração deste trabalho, assim como a sua orientação e partilha da sua sabedoria, a qual permitiu melhorar os meus conhecimentos.

Ao Eng.º Sequeira da Cruz assinalando a gratidão pelo seu grande contributo na minha formação no domínio da especialidade de via-férrea.

À minha amiga Leonor pelo apoio e saber ouvir nas horas menos boas.

Ao Eng.º Rui Burrinha e Rui Araújo pela paciência quando da minha insistência no fornecimento de dados.

À minha família, a ti querida filha pelo carinho e tempo que não te dispensei e a ti meu marido, pelo incentivo e apoio na obtenção das metas a que nos propomos.

Agradeço a todos.

## RESUMO

A presente dissertação tem como principal objectivo analisar as consequências técnicas e operacionais que resultam da migração de uma bitola de via métrica para uma de bitola larga (1668 mm). Para esse fim, toma-se como caso de estudo a recente conversão de via métrica em via larga da Linha de Guimarães.

Apresenta-se uma breve abordagem sobre as motivações e consequências que podem determinar a escolha de uma bitola. Na sequência, expõe-se a formulação teórica de alguns parâmetros determinantes no dimensionamento de uma via-férrea, evidenciando a importância do parâmetro bitola.

Caracteriza-se do ponto de vista técnico a infra-estrutura e referem-se alguns aspectos sobre a operação da linha. Com base nestes elementos e nos registos da geometria da via, obtidos através das medições efectuadas pelo veículo de inspecção de via EM120, procura-se estabelecer relações que possam evidenciar as consequências que resultaram da mudança de bitola. Para isso, procedeu-se à análise de aspectos conceptuais do traçado, nomeadamente características dos elementos geométricos e a sua estrutura sequencial, com base na análise dos desvios dos parâmetros da geometria da via, por comparação com a geometria projectada.

Com esta análise, complementada com a caracterização da infra-estrutura, nomeadamente a nível dos equipamentos instalados, perfil transversal tipo adoptado e procedimentos de execução, identificaram-se aspectos relacionados com o comportamento da via e o impacto na sua manutenção.

## **ABSTRACT**

This dissertation has as main objective to study the technical and operational consequences that result from the migration of a metric gauge track to a broad gauge track (1668 mm). To this end, we take as a case study the recent conversion of metric gauge a broad gauge track through the Line of Guimarães.

It presents a brief overview about the motivations and consequences that may determine the choice of a gauge. Following it is exposed the theoretical formulation of some crucial parameters in the design of a rail, showing the importance of the gauge parameter.

It is characterized in terms of technical infrastructure and refer to some aspects of the operation of the line. Based on these elements and records of track geometry, obtained from measurements made by the vehicle inspection via EM120, seeks to establish relationships that can highlight the consequences that resulted from the change of gauge. For this, we proceeded of the analysis of conceptual aspects of the layout, including features of the geometric sequence and structure, based on analysis of the deviations of the parameters of track geometry, compared to the design geometry.

With this analysis, complemented by the characterization of the infrastructure, particularly in terms of installed equipment, cross-type profile adopted and implementation procedures, we identified aspects of the behavior of the rail and the impact on its maintenance.

## Índice

ABSTRACT .....	iii
Índice .....	iv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objectivos.....	1
1.3 Estrutura da dissertação .....	2
2 ESCOLHA DA BITOLA PARA UMA REDE.....	3
3 PARÂMETROS DO TRAÇADO .....	8
3.1 Considerações Gerais .....	8
3.2 Circulação em curva e esforços na via .....	9
3.2.1 Aceleração lateral não compensada.....	9
3.2.2 Escala de equilíbrio .....	10
3.2.3 Valor máximo da escala prática.....	11
3.2.4 Insuficiência de escala .....	13
3.2.5 Excesso de escala.....	13
3.2.6 Relação entre a aceleração lateral não compensada e a insuficiência de escala. 14	
3.2.7 Variação da insuficiência de escala em função do tempo .....	14
3.2.8 Variação da escala em função do tempo .....	14
3.2.9 Variação da escala em função do comprimento (disfarce de escala) .....	15
3.2.10 Conforto.....	15
3.3 Resistência da via aos esforços transversais.....	16
3.3.1 Esforço de ripagem.....	16
3.3.2 Descarrilamento.....	17
3.3.3 Derrube .....	19
3.4 Gabaritos.....	20
3.5 Considerações finais .....	22
4 CASO DE ESTUDO .....	23
4.1 Resumo histórico da Linha de Guimarães .....	23
4.2 Considerações gerais .....	25
4.3 Caracterização do serviço.....	26
4.4 Material circulante.....	26
4.5 Caracterização da via-férrea .....	27
4.5.1 Traçado em planta .....	29
4.5.2 Traçado em perfil longitudinal .....	31

---

4.5.3	Estações e apeadeiros .....	33
4.5.4	Superestrutura.....	40
4.5.5	Lubrificadores fixos de via.....	41
4.5.6	Sobrelarguras .....	42
4.5.7	Perfil transversal tipo.....	44
4.5.8	Diagrama de velocidades.....	46
4.6	Análise e diagnóstico da linha.....	47
4.6.1	Traçado em planta e perfil longitudinal.....	50
4.6.2	Armamento .....	60
4.6.3	Lubrificadores.....	61
4.6.4	Sobrelarguras .....	61
4.6.5	Juntas dos carris.....	65
4.6.6	Plataformas de passageiros.....	66
5	CONCLUSÕES E LINHAS DE INVESTIGAÇÃO FUTURAS .....	68
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72
	ANEXOS.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Forças no plano da via em curva	10
Figura 3.2 – Forças normais ao plano da via em curva	11
Figura 3.3 – Força transversal entre a roda e o carril	19
Figura 3.4 - Contorno de referência do gabarito PTb+	21
Figura 4.1 - Linha de Guimarães e ligações na sua origem	24
Figura 4.2 – Traçado geral da Linha de Guimarães	25
Figura 4.3 - Esquema geral da linha e localização de estações e apeadeiros	28
Figura 4.4 – Representação esquemática do perfil longitudinal	31
Figura 4.5 – Esquema unifilar das linhas da estação de Lousado	34
Figura 4.6 – Esquema unifilar das linhas da estação de Santo Tirso	34
Figura 4.7 – Esquema unifilar das linhas da estação de Caniços	35
Figura 4.8 – Esquema unifilar das linhas da estação de Vila das Aves	35
Figura 4.9 – Implantação da plataforma de passageiros na estação de Vila das Aves	36
Figura 4.10 – Esquema unifilar das linhas da estação de Lordelo	36
Figura 4.11 – Implantação da plataforma de passageiros na estação de Lordelo	37
Figura 4.12 – Esquema unifilar das linhas da estação de Vizela	37
Figura 4.13 – Esquema de linhas da estação de Guimarães	38
Figura 4.14 – Implantação da plataforma de passageiros no apeadeiro de Cuca	39
Figura 4.15 – Esquema de linhas do apeadeiro de Covas	40
Figura 4.16 – Ponte de Caniços e viaduto de acesso: zona com barra longa soldada	41
Figura 4.17 – Perfil Transversal Tipo corrente	44
Figura 4.18 – Perfil Transversal Tipo reduzido	45
Figura 4.19 – Diagrama de velocidades da via ascendente	47
Figura 4.20 – Troço Lordelo - Guimarães: registo dos desvios da bitola das campanhas de 2008, 2009, 2010 e 2011.	49
Figura 4.21 – Subtroço Lousado - Santo Tirso: desvio da bitola em alinhamentos rectos	52
Figura 4.22 -Subtroço Lousado - Santo Tirso: desvios da bitola em alinhamento recto de 37 m	52
Figura 4.23 -Subtroço Lousado - Santo Tirso: desvios da bitola em alinhamento recto de 83 m	52
Figura 4.24 – Subtroço Lousado - Santo Tirso: desvios da bitola	53
Figura 4.25 – Subtroço Santo Tirso - Lordelo: desvios da bitola	54
Figura 4.26 – Subtroço AMV instalado em curva de raio 480 m: desvio do valor da bitola	54
Figura 4.27 – Troço Santo Tirso - Lordelo: diagrama de escalas num arco circular de curta extensão	56
Figura 4.28 – Troço Santo - Tirso Lordelo: desvios da bitola. Ponto de inflexão	56
Figura 4.29 – Troço Santo - Tirso Lordelo: defeitos de bitola na CT1 da curva 20	57
Figura 4.30 – Troço Santo - Tirso Lordelo: defeitos de bitola na CT2 da curva 21	57
Figura 4.31 – Troço Lordelo-Guimarães: desvios da bitola. Inclinação trainel 2,7‰.	58
Figura 4.32 – Troço Santo Tirso – Lordelo: desvios da bitola. Inclinação trainel 16‰.	58
Figura 4.33 – Troço Lordelo-Guimarães. Defeitos de bitola no arco circular com 250 m e inclinação 2,7‰.	59

---

Figura 4.34 – Troço Santo Tirso-Lordelo. Desvios da bitola no arco circular com 270 m e inclinação 16‰.	59
Figura 4.35 – Troço Santo Tirso-Lordelo: desvios de bitola. Sobrelargura 10 mm	63
Figura 4.36 – Troço Lordelo - Guimarães: desvios de bitola. Sobrelargura 5 mm	64
Figura 4.37 – Troço Lordelo – Guimarães: desvios de bitola em zonas de barra curta	66
Figura 4.38 – Troço Lordelo-Guimarães: desvios de bitola em zonas de barra curta	66

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Índice da qualidade da via.	17
Quadro 4.1 - Parâmetros do material circulante	26
Quadro 4.2 - Extensão em recta e em curva	29
Quadro 4.3 - Localização dos lubrificadores fixos de via	42
Quadro 4.4 - Valores dos raios e das sobrelarguras	43
Quadro 4.5 - Características principais dos perfis transversais tipo	46

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a_q$	Aceleração lateral não compensada no plano da via ( $ms^{-2}$ )
$a_i$	Aceleração quase-estática paralela ao pavimento do veículo ( $ms^{-2}$ )
$b$	Bitola nominal da via ( $mm$ )
$b_{CR_{cin}}$	Meia largura do contorno de referência cinemático ( $m$ )
$b_q$	Meia largura para a implantação das plataformas ( $m$ )
$C$	Factor para o cálculo do equilíbrio de escala ( $mm \cdot m \cdot \frac{h^2}{km^2}$ )
$D$	Escala prática ( $mm$ )
$D_e$	Escala de equilíbrio ( $mm$ )
$D_0$	Valor da escala adoptado, por convenção, entre o material circulante e a infraestrutura ( $mm$ )
$\frac{dD}{dt}$	Varição da escala em função do tempo ( $mm s^{-2}$ )
$\frac{dD}{dl}$	Varição da escala em função do comprimento ( $mm m^{-1}$ )
$\Delta D$	Varição total da escala ao longo de uma curva de transição, entre um alinhamento recto e uma curva circular ou entre duas curvas adjacentes de raios diferentes
$e$	Distância entre círculos de rolamento das rodas de um eixo ( $mm$ )
$f$	Coefficiente de atrito entre as superfícies de contacto verdugo/carril
$E$	Excesso de escala ( $mm$ )
$g$	Aceleração da gravidade ( $ms^{-2}$ )
$H_s$	Componente transversal da carga em curva circular (N)
$h$	Altura em relação ao plano de rolamento ( $m$ )
$h_c$	Altura do centro de gravidade ( $mm$ )
$h_{c0}$	Valor de $h_c$ tido em conta por convenção entre o material circulante e a infraestrutura ( $m$ )
$I$	Insuficiência de escala ( $mm$ )
$\frac{dI}{dt}$	Varição da insuficiência de escala em função do tempo ( $mm s^{-2}$ )
$\Delta I$	Varição total da insuficiência de escala ao longo de uma curva de transição, entre um alinhamento recto e uma curva circular ou entre duas curvas adjacentes de raios diferentes ( $mm$ )
$i$	Inclinação ( $mm m^{-1}$ )
$i_c$	Inclinação compensada ou integral ( $mm m^{-1}$ )
$K$	Coefficiente de resistência
$k$	Coefficiente de amplificação no cálculo das margens

$L$	Distância entre eixos dos carris de uma mesma via ( $m$ )
$l$	Comprimento da curva de transição ou da variação de escala ( $m$ )
$M_e$	Momento estabilizador ( $Nm$ )
$M_r$	Momento derrube ( $Nm$ )
$m$	Massa do veículo ( $t$ )
$n$	Coefficiente de segurança ao derrubamento
$P$	Peso por eixo ( $t$ )
$Q_0$	Carga nominal da roda ( $t$ )
$\Delta Q$	Varição total da carga da roda ( $t$ )
$qs_i$	Deslocamento devido à inclinação quase-estática tido em conta pela infraestrutura no exterior do contorno de referência, do lado interior da curva ( $m$ )
$qs_a$	Deslocamento devido à inclinação quase-estática tido em conta pela infraestrutura no exterior do contorno de referência, do lado exterior da curva ( $m$ )
$R$	Raio da curva ( $m$ )
$r_c$	Resistência específica devido às curvas ( $kgf/ton$ )
$s$	Coefficiente de souplesse
$s_0$	Coefficiente de souplesse tido em consideração por convenção entre o material circulante e a infraestrutura
$s_{cin}$	Saliência autorizada do lado interior ou exterior da curva ( $m$ )
$T$	Impulso lateral (força centrífuga não compensada) ( $t$ )
$T_{carg}$	Ângulo de dissimetria devido a má repartição de cargas (grau)
$T_D$	Defeitos de escala entre períodos de manutenção da via ( $m$ )
$T_N$	Tolerância do nivelamento da via ( $m$ )
$T_{Osc}$	Ângulo de inclinação aleatória devido às oscilações provocadas pelas irregularidades da via (grau)
$T_{Susp}$	Ângulo de dissimetria, devido à falta regulação da suspensão (grau)
$T_{via}$	Deslocamento transversal da via entre dois períodos de manutenção ( $m$ )
$t$	Tempo ( $t$ )
$U$	Índice da qualidade da via, função dos defeitos de nivelamento transversal e alinhamento
$V$	Velocidade da linha ( $kmh^{-1}$ )
$V_c$	Velocidade crítica ( $kmh^{-1}$ )
$V_{m\acute{a}x}$	Velocidade máxima da linha de comboios rápidos ( $kmh^{-1}$ )
$V_{m\acute{i}n}$	Velocidade mínima da linha de comboios lentos ( $kmh^{-1}$ )
$Z_0$	Valor adoptado pelo material circulante no exterior do contorno de referência para

---

	permitir a inclinação quase estática ( $m$ )
$\Sigma_{cin}$	Soma das margens de segurança (horizontal) para o gabarito de obstáculos considerando os fenómenos aleatórios ( $m$ )
$\Sigma_{ylim}$	Limite da força transversal ( $N$ )
$\gamma$	Coefficiente que tem em conta a repartição heterogénea da força centrífuga entre os dois eixos de um bogie
$\alpha$	Ângulo formado pela intersecção do plano de rolamento dos carris e o plano horizontal de referência ( $grau$ )
$\beta$	Ângulo de inclinação do verdugo da roda no ponto de contacto ( $grau$ )

## Abreviaturas

*AMV* – Aparelho de mudança de via

*bls* – barra longa soldada

*bc* – barra curta

*CEN* – Comité Europeu de Normalização

*CEX* – Exterior da curva

*CIN* – Interior da curva

*CT* – Curva de transição

*D<sub>c</sub>* – Desenvolvimento circular

*JCL* – Junta da contra lança

*JTC* – Junta do talão da cróssima

*ORE* – Office de Recherches et d'Essais

*PI* – Passagem inferior

*PN* – Passagem de nível

*PTT* – Perfil Transversal Tipo

*SNCF* – Société Nationale des Chemins de Fer Français

*TBM* – Travessa de betão monobloco

*TBB* – Travessa de betão bi-bloco

*UIC* – Union International des Chemins de Fer.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

A construção de linhas ferroviárias teve a sua génese em Inglaterra no séc. XIX. Estas foram dotadas de bitola 1435 mm porque as carroças e coches da época tinham esta distância entre as rodas. Por motivos de ordem estratégica, económica e condições orográficas particulares de cada país, foram construídas linhas de bitola distinta nas diversas redes ferroviárias, situação que perdura até aos dias de hoje. Nos sistemas ferroviários que apresentam diferentes tipos de bitola, nas suas conexões internas e externas, é recorrentemente abordada a questão da sua unificação, sem que a maior parte das vezes, seja elaborada uma avaliação que incorpore as vertentes técnica e económica.

A realidade da unificação da bitola não é a mesma para todos os países, pois face ao tipo de tráfego predominante, tipo de bitola de cada rede e ligações externas, deverá ser requerida a que melhor responda a critérios técnicos, operacionais e económicos. As ligações externas são importantes, porém dotar todas as linhas de uma rede dessa mesma bitola, poderá exigir um esforço financeiro sem retorno.

Recentemente, na Rede Ferroviária Nacional assistiu-se a alterações do tipo de bitola, nomeadamente a relativa à conversão da bitola métrica em bitola de via larga (1668 mm) na Linha de Guimarães. O último troço a abrir à exploração, em 2004, foi o compreendido entre as estações de Lordelo e Guimarães. Tendo em conta o período de tempo decorrido, a avaliação do comportamento da via-férrea e o impacto na sua manutenção pode tornar-se útil. A compreensão dos resultados das opções tomadas podem ditar ensinamentos que contribuam para ajudar noutras situações similares, em casos futuros. Nessa medida, o presente trabalho visa analisar questões técnicas e operacionais decorrentes da opção converter uma via métrica numa via de bitola 1668 mm.

## 1.2 Objectivos

A presente dissertação tem como principal objectivo abordar os problemas técnicos, operacionais e tanto quanto possível económicos, que decorrem da mudança de uma bitola de via estreita (1000 mm) para uma de via larga (1668 mm), com suporte no estudo do troço Lousado - Guimarães. Para esse fim caracterizam-se os parâmetros da via-férrea, velocidade, geometria da via, armamento da via, plataformas de passageiros e gabaritos e analisam-se os registos da geometria da via, obtidos pelo veículo de inspecção de via EM120.

Com estes elementos pretende-se avaliar os aspectos conceptuais do traçado, nomeadamente as características dos elementos geométricos e estrutura sequencial, o comportamento da via e implicações na sua manutenção.

### **1.3 Estrutura da dissertação**

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos incluindo o presente onde se apresenta o enquadramento do tema e objectivos que se pretendem atingir com a realização deste trabalho. No capítulo dois tecem-se considerações gerais sobre a escolha do tipo de bitola para uma rede. No capítulo três apresenta-se a formulação analítica tradicionalmente empregue no cálculo dos parâmetros geométricos e dinâmicos de uma via-férrea e alguns factores correctivos para os vários tipos de bitola. No capítulo quatro faz-se a caracterização da via-férrea do troço objecto de tratamento e a análise e diagnóstico dos seus elementos constituintes, com base nos parâmetros geométricos obtidos através do registo efectuado pelo veículo de inspecção EM120. No quinto e último capítulo apresentam-se as conclusões gerais do tema analisado e linhas de investigação futuras. Na conclusão serão enunciadas algumas das consequências que resultam da reconversão de via métrica em larga (1668 mm). Serão também apresentadas algumas orientações para novos desenvolvimentos e trabalhos futuros a desenvolver nesta área.

## 2 ESCOLHA DA BITOLA PARA UMA REDE

Uma via-férrea apresenta como elemento básico característico a bitola, distância entre faces interiores da cabeça dos carris medida em esquadria com estes, 15 mm abaixo do seu plano de rolamento. A bitola mais utilizada no mundo é a bitola 1435 mm (4 pés, 8 polegadas e meia), designada actualmente por bitola internacional. Esta remonta ao século XIX, época em que foi inaugurada a primeira via comercial interurbana, com a imortal locomotiva “The Rocket”, fabricada por George Stephenson. A adopção deste tipo de bitola não resultou de uma investigação científica, de estudos de engenharia, nem de economia dos transportes. Tratava-se da distância, entre rodas, mais comumente encontrada nos rastos deixados pelas carroças e coches da época, em Inglaterra. A bitola 1435 mm foi oficialmente adoptada como padrão de referência durante a conferência de Berna em 1907 e aceite como bitola oficial em muitos países como a França, Alemanha e Estados Unidos.

Embora a bitola frequentemente utilizada seja a de 1435 mm, existe ainda hoje em exploração um número significativo de linhas com bitolas diferentes, em número superior a 16, contabilizando também as utilizadas em linhas turísticas e linhas com fins agrícolas.

Actualmente, a nível mundial, estima-se que a bitola internacional possa ser encontrada em 60% das linhas de comboio espalhadas pelos cinco continentes. A bitola de via larga (> 1435 mm), corresponderá a 23% e a de via estreita (< 1435 mm) representará cerca de 17%.

Inúmeros países adoptaram bitolas distintas da internacional, encontrando-se a bitola 1668 mm em Portugal e Espanha; a 1600 mm na República da Irlanda e Irlanda do Norte, Brasil e Austrália; a 1524 mm na Rússia e Finlândia; a 1067 mm na África do Sul e nos países da África Central, Indonésia, Japão, Taiwan, Filipinas, Nova Zelândia. Várias linhas secundárias da Europa utilizam bitola métrica (Espanha, Suíça, Suécia, Alemanha e França).

Ao longo do tempo tem-se assistido a uma tentativa de unificação das bitolas para conectar as ligações internas e as redes dos diversos países. É exemplo disso a Holanda, que começou a construção da sua rede ferroviária em bitola 1950 mm, mas acabou por modificar a sua estratégia a partir de 1855, a fim de obter compatibilidade com as vias em bitola internacional adoptada pelos seus vizinhos, Bélgica e Alemanha. O Japão unificou a sua bitola no início do século XX para a bitola 1067 mm. Exceptuam-se neste caso as linhas que foram convertidas de via estreita (1067 mm) para vias com bitola 1435 mm para exploração dos comboios de

alta velocidade, já que os gabaritos do material circulante utilizado nas duas bitolas não apresentam diferenças significativas.

Em Portugal, nas linhas convencionais, encontram-se instalados dois tipos de bitola: a larga (1668 mm) e a métrica (1000 mm). Esta, outrora com uma expressão apreciável na zona Norte do País resume-se hoje a um troço da Linha do Vouga e outro da Linha do Tua, com poucas probabilidades de sobrevivência. O projecto português de alta velocidade já foi desenvolvido com bitola 1435 mm.

A construção de linhas férreas com diferentes bitolas foi uma política muito comum em vários lugares do mundo. Na Europa por motivos estratégico-militares e noutros casos por motivo meramente económico. A aquisição de material circulante a outros países com bitolas distintas, muitas vezes obsoleto, determinou também a definição da escolha da bitola.

Porém, a coabitação de bitolas diferentes nas diversas redes e no interior das mesmas mostra que outros factores ditaram as decisões da escolha da bitola, que até aos dias de hoje reflectem um desenvolvimento heterogéneo.

Diversas considerações podem ser tecidas para a escolha de uma bitola para uma rede. Esta escolha pode ser ditada pela vontade de empregar a bitola internacional, para facilitar as interconexões entre as diferentes redes. No interior de uma rede ferroviária os motivos encontram-se relacionados com a padronização da utilização do mesmo material circulante em toda a extensão das vias, e da optimização dos mesmos equipamentos para a construção, diagnóstico e manutenção da via. A mudança de bitola pode ser vista como uma perda de flexibilidade operacional, pois impede a utilização de recursos, de forma racional e optimizada. Para o caso do transporte de mercadorias, pode traduzir-se num aumento de custos pela necessidade de realizar transbordos entre os comboios que operam em bitolas diferentes, o que aumenta o tempo de percurso e os investimentos. No caso do transporte de passageiros, o custo económico da perda de tempo na mudança de bitola e consequente processo de transferência de passageiros dependerá da tipologia das linhas onde ocorrem as ligações do sistema, que podem apresentar bitolas diferentes sem prejuízo do funcionamento do mesmo. A padronização deve ter por objectivo reduzir custos devido aos transbordos, de forma racional e coerente, adaptada a cada país.

A orografia dos terrenos é outro factor determinante na escolha de uma bitola, tendo em conta os custos envolvidos na sua construção. A via métrica que admite raios mínimos da ordem dos 100/150 m, apresenta a vantagem de permitir melhor adaptação do traçado à orografia do

terreno o que explica a adopção desta bitola, e de um modo geral de bitolas estreitas, em terrenos montanhosos.

Quanto menor a distância entre os carris, menor o custo de construção da via, devido à menor dimensão da plataforma, das travessas e da largura das pontes e viadutos. Os aterros e escavações também terão menor expressão reduzindo o volume de terras a movimentar. Quanto mais acidentado for o terreno maiores serão os custos associados à construção de uma via com bitola larga, em comparação com uma via mais estreita. Isto justifica o facto das redes ferroviárias, em terrenos pouco acidentados adoptarem, em geral, bitolas largas e, em contrapartida, adoptaram a bitola estreita em terrenos mais montanhosos. Portugal não foi excepção, encontrando-se a concentração de vias estreitas na zona Norte do país.

A mudança de bitola de uma via-férrea existente é uma tarefa árdua e onerosa uma vez que exige a substituição de todas as travessas. A mudança de bitola mostra-se mais fácil convertendo uma bitola mais larga numa mais estreita. Neste caso, a mudança de bitola ocorre devido à diminuição da distância entre carris, o que mantém sem alterações a infra-estrutura da via e na superestrutura ferroviária haveria que substituir travessas, retirar e recolocar as fixações (se compatíveis) e os carris.

No caso de algumas bitolas largas, como a 1668 mm, existe a possibilidade de as transformar em bitolas mistas. As soluções passam pela convivência de duas bitolas, larga com métrica (algaliada) ou internacional com larga. Esta última solução exigiria a utilização de uma travessa com três carris que viabiliza a instalação de duas bitolas distintas, em simultâneo, e no mesmo troço de via, à custa da aplicação de um terceiro carril, sendo um dos carris comum às duas bitolas o que origina dois eixos distintos. A travessa de três carris apresenta maiores dimensões que as travessas de betão monobloco usuais e mesmo que as travessas de betão monobloco com quatro furações, designadas por travessas polivalentes. A aplicação desta travessa apresenta implicações directas nas dimensões da plataforma da via, quantidade de balastro, gabaritos, layout de estações, acessibilidade às plataformas de passageiros, sistemas de sinalização e exigiria, ainda, a substituição de todas as travessas.

Os custos associados a estas soluções mostram-se de tal modo avultados que dificilmente, de forma generalidade, é aplicável na harmonização de bitolas de uma rede. A aplicabilidade deste tipo de travessas poderá passar por corredores confinados em que seja necessário circular em ambas as bitolas, em troços que requeiram bitola internacional e tráfego convencional de mercadorias, sem grande densidade de nenhum dos dois tipos de tráfego ou quando a intensidade de tráfego não justifica duas vias (Nakagomi, 2006).

A mudança de bitola de uma via estreita existente para uma via com bitola larga apresenta-se complexa, pela necessidade de adaptações importantes a nível da plataforma, aterros e escavações, obras de arte, substituição do armamento de via (travessas equipadas com fixações e carril) e perfil de balastro, sob pena de alterar a bitola sem ganho substancial, no tempo de percurso e energético.

Actualmente em Espanha e Portugal, nas vias existentes quando sujeitas a renovações ou substituição de travessas, optam pela colocação de travessas com bitola 1668 mm que permitem, no futuro, através da alteração da posição dos dois carris, a materialização da bitola 1435 mm.

Existem diferenças significativas nas intervenções necessárias para a alteração de uma bitola e inerentemente no custo de construção, manutenção e operação. Por isso, torna-se necessário uma ponderação sistémica e integrada do tipo de bitola que melhor responda técnica e operacionalmente ao menor custo, tendo em conta o desempenho pretendido para cada linha.

Tem de haver conhecimento das restrições e capacidades a que cada bitola responde, nomeadamente a nível de velocidade, estabilidade e carga.

Se a unificação da bitola parece ser o caminho, não é de conclusão imediata que em todos os casos o deva ser para a bitola 1435 mm. Os dados apontam, a curto/médio prazo, face à heterogeneidade de bitolas ainda existentes, para o desenvolvimento de corredores internacionais. Porém, as inter-conecções internas devem ser avaliadas face aos custos que acarreta as alterações de bitola. Só os estudos técnicos e económicos poderão aferir para cada realidade a melhor solução. Existem muitos casos de sucesso com bitolas inferiores a 1435 mm, como é o caso do transporte de minério entre Vitória e Minas (Brasil), em via métrica, que reforçam a ideia de que é necessário, para cada caso, uma avaliação criteriosa e fundamentada em estudos técnicos e económicos.

O que mais interessa é o escoamento de tráfego fácil, rápido e com regularidade, do que propriamente a bitola. Por isso, a uniformização da bitola deve ocorrer na direcção daquela que oferece menores custos de uniformização, manutenção e operação.

A procura da padronização futura das bitolas parece provável. Os países procuram, de forma distinta, mecanismos próprios para construir redes operacionais internas. Numa dimensão mais abrangente, as organizações internacionais procuram gerar redes macro-regionais e continentais.

A União Europeia começou a desenvolver transportes interoperáveis e redes ferroviárias de passageiros por toda a área que abrange e está á procura da normalização da bitola, da sinalização e dos sistemas de energia eléctrica das vias ferroviárias.

Porém, face aos elevados investimentos e às importantes perturbações na normal exploração da rede, bem como à futura existência de vias de bitolas distintas nos corredores transfronteiriços, em consequência de novas ligações, que garantirão uma efectiva interoperabilidade, considera-se não existirem justificações sólidas para a implementação de uma política de migração da bitola generalizada das infra-estruturas convencionais.

Cada caso é um caso, o que conduz a que as opções a tomar deverão ser as que se mostrem mais económicas a nível de custos de investimento e operação, pelo que a opção sobre a alteração de bitola existente, ou a escolha de uma bitola para uma nova ligação, requer uma análise rigorosa do ponto de vista técnico, operacional e económico.

## 3 PARÂMETROS DO TRAÇADO

### 3.1 Considerações Gerais

O estudo de um traçado de via visa obter características geométricas dos elementos constituintes, que proporcionem as melhores condições de circulação dos veículos ferroviários e, conseqüentemente, a sua estabilidade e a minimização das ações de manutenção da via. Para isso, torna-se necessário compatibilizar a geometria da via em altimetria e em planimetria, para a obtenção de uma boa dinâmica de rolamento, dependente da velocidade de circulação, da exigência para o conforto dos passageiros e das solicitações do material circulante. O estudo requererá o conhecimento das solicitações que resultam da interação inerente ao conjunto, material circulante e via-férrea. O material circulante está sujeito a diversos movimentos parasitários, perturbadores do movimento, quando realiza a sua marcha. A compreensão dos principais movimentos secundários a que os veículos estão sujeitos quando circulam, permite um melhor entendimento sobre os esforços na via.

Na realidade, na análise do comportamento de um veículo em marcha não se verificam movimentos puros. As oscilações que adquire são a combinação das translações e das rotações elementares, que ocorrem segundo os eixos coordenados  $xx$ ,  $yy$  e  $zz$ . Importa minimizar estes efeitos, quer por requisito de estabilidade, conforto e segurança da circulação, quer por exigência de limitação das solicitações secundárias sobre a via. As causas fundamentais dos movimentos dos veículos estão associadas, quer à via, quer aos veículos e devem-se fundamentalmente a:

- Movimento de balanceio - Originado normalmente por defeitos de nivelamento transversal. Tem influência particularmente nefasta sobre o traçado geométrico da via e concorre para a sua degradação progressiva e do próprio material circulante, pois origina como consequência uma repartição desigual de cargas.
- Movimento de galope - Provocado por defeitos do nivelamento longitudinal diversos, como existência de pontos altos ou pontos baixos (perfil longitudinal), deficiente ataque da via ou defeitos de disfarce de escala, motivando uma transferência dinâmica mais ou menos brusca de carga, o que origina “pancadas”, situação que, continuada, pode contribuir para o aparecimento de fracturas nos carris, com o início de micro-fissuração.
- Movimento de lacete - Deve-se a folgas excessivas nos órgãos de suspensão dos veículos, irregularidades de alinhamento dos carris, conicidade dos aros das rodas e forças

desenvolvidas no contacto roda-carril. As oscilações de lacete poderão fazer com que haja contactos fortuitos do verdugo com a face interior do carril.

Os veículos em movimento originam esforços verticais, transversais e longitudinais na via a serem tomados em consideração. Segundo Alias (1984), os esforços verticais e transversais podem ser dissociados sem inconveniente. O estudo dos esforços verticais pode ser efectuado sem erro grave no domínio elástico, o que não acontece para os esforços transversais, caracterizados pela sua não linearidade. No que se refere às solicitações transversais, há a considerar as que resultam da interacção lateral entre os veículos e a via, nomeadamente do movimento de lacete dos veículos e, em curva, também os originados pelo guiamento dos veículos e compensação, eventualmente parcial, da força centrífuga (Gonçalves, 1974).

### 3.2 Circulação em curva e esforços na via

A existência de curvas no traçado ferroviário exige estudos específicos para que a via férrea seja dimensionada de modo a obedecer aos requisitos de estabilidade, conforto e segurança das circulações.

#### 3.2.1 Aceleração lateral não compensada

A Figura 3.1 mostra que, no plano da via, a força centrífuga não compensada é a resultante das projecções do peso e da força centrífuga. O seu valor é dado pela Equação (3.1).

$$F1 - F2 = m \cos \alpha \frac{V^2}{R} - mg \sin \alpha \quad (3.1)$$

Onde:  $F1$  é a projecção da força centrífuga na direcção paralela ao plano de rolamento dos carris;  $F2$  é a projecção do peso na direcção paralela ao plano de rolamento dos carris;  $m$  é a massa do veículo;  $g$  é a aceleração da gravidade;  $V$  é a velocidade de circulação;  $R$  é o raio da curva;  $\alpha$  é o ângulo formado pela intersecção do plano de rolamento dos carris com o plano horizontal de referência.

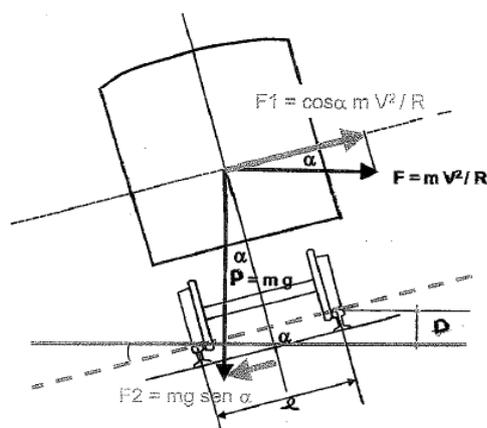


Figura 3.1 – Forças no plano da via em curva

No plano da via a aceleração lateral não compensada é dada pela Equação (3.2).

$$a_q = \frac{V^2}{R} \cos \alpha - g \frac{D}{e} \quad (3.2)$$

Onde:  $a_q$  é a aceleração lateral não compensada no plano da via;  $V$  é a velocidade de circulação;  $R$  é o raio da curva;  $\alpha$  é o ângulo formado pela intersecção do plano de rolamento dos carris com o plano horizontal de referência;  $g$  é a aceleração da gravidade;  $D$  é a escala prática;  $e$  é a distância entre círculos de rolamento das rodas de um eixo (bitola cinemática).

A Equação (3.2) permite-nos calcular a aceleração lateral não compensada de um veículo que circula a uma velocidade  $V$ , numa curva de raio  $R$ , com escala  $D$  e bitola cinemática  $e$ . Esta aceleração lateral não compensada pode ser positiva, negativa ou nula. Quando é positiva significa que a escala instalada na curva é insuficiente para anular o efeito da força centrífuga, pelo que a curva apresenta insuficiência de escala. Nestas circunstâncias o verdugo da roda tende a aproximar-se da fila alta da curva. No caso de a aceleração ser negativa a escala instalada na curva tem um valor superior ao necessário para anular a aceleração centrífuga, instalando-se uma aceleração centrípeta. Nestas circunstâncias o veículo em circulação tende a descair para a fila baixa da curva, pelo que dizemos que a curva apresenta excesso de escala. Se a aceleração lateral não compensada é nula, significa que a escala instalada na curva é a necessária e suficiente para anular a força centrífuga.

### 3.2.2 Escala de equilíbrio

Um veículo a circular numa via em que a escala é a necessária e suficiente para anular a aceleração centrífuga, ficará apenas sujeito a uma aceleração normal, pois a aceleração lateral

na direcção do plano da via é totalmente compensada pela escala que se designa por escala de equilíbrio, Figura 3.2, dada pela Equação (3.3).

$$D_e = \frac{V^2 e}{12,96 R g} \cos \alpha \quad (3.3)$$

Onde:  $D_e$  é a escala de equilíbrio;  $V$  é a velocidade de circulação;  $e$  é a distância entre círculos de rolamento das rodas de um eixo;  $R$  é o raio da curva;  $g$  é a aceleração da gravidade;  $\alpha$  é o ângulo formado pela intersecção do plano de rolamento dos carris com o plano horizontal de referência.

O valor da escala dado pela Equação (3.3) é normalmente incompatível com a velocidade dos comboios. A inaplicabilidade dos valores dados por esta Equação deve-se ao facto dos veículos circularem a velocidade diferenciada e, por outro, como é monótona crescente com  $V$ , os valores de  $D$  seriam tão elevados que conduziriam a uma inclinação do plano de rolamento inaceitável, pois dificultaria as paragens durante o percurso. Mesmo para a circulação de comboios mais lentos que, neste caso, sofreriam com o elevado excesso de escala, haveria graves problemas nomeadamente devido à conicidade das rodas.

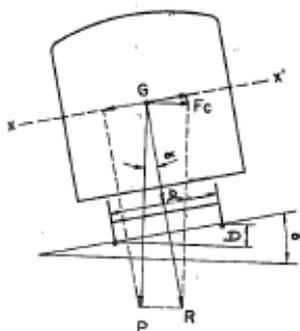


Figura 3.2 – Forças normais ao plano da via em curva

O valor do coeficiente teórico de escala  $C$  é determinado tendo em conta o valor da distância entre círculos de rolamento das rodas de um eixo, portanto dependente da bitola escolhida para o dimensionamento da linha e dado pela Equação (3.4).

$$C = \frac{e}{12,96 g} \quad (3.4)$$

Para a via métrica  $C$  é igual a 8,3 e para a via larga (1668 mm)  $C$  é igual a 13,7.

### 3.2.3 Valor máximo da escala prática

Na determinação do valor máximo deste parâmetro há que ter em consideração que os comboios podem parar ou circular em regime quase estático. Assim, o seu valor é

independente da velocidade. Depende, exclusivamente, da inclinação do plano dos carris e da estabilidade dos veículos nesse plano, no que se refere ao derrubamento. O momento de derrube  $M_r$  é calculado pela Equação (3.5) e o momento estabilizador  $M_e$  pela Equação (3.6), a partir dos quais se determina o coeficiente de segurança ao derrubamento  $n$  através da Equação (3.7).

$$M_r = mg \sin \alpha h_g \quad (3.5)$$

Onde:  $M_r$  Momento de derrube;  $m$  é a massa do veículo;  $g$  é a aceleração da gravidade;  $\alpha$  é o ângulo formado pela intersecção do plano de rolamento dos carris com o plano horizontal de referência;  $h_g$  é a altura do centro de gravidade.

$$M_e = mg \cos \alpha \left(\frac{e}{2}\right) \quad (3.6)$$

Onde:  $M_e$  é o momento estabilizador;  $m$  é a massa do veículo;  $g$  é a aceleração da gravidade;  $\alpha$  é o ângulo formado pela intersecção do plano de rolamento dos carris com o plano horizontal de referência;  $e$  é a distância entre círculos de rolamento das rodas de um eixo.

$$n = \frac{e^2}{2h_g D} \quad (3.7)$$

Onde:  $n$  é o coeficiente de segurança ao derrubamento;  $e$  é a distância entre círculos de rolamento das rodas de um eixo;  $h_g$  é a altura do centro de gravidade;  $D$  é a escala prática.

O coeficiente de segurança ao derrubamento é proporcional ao quadrado da bitola e inversamente proporcional à altura do centro de gravidade do veículo. Nesta formulação, por simplificação, não foi considerada a excentricidade da resultante em relação ao centro da via e tomou-se  $\tan \alpha = \sin \alpha$ .

A limitação do valor da escala destina-se fundamentalmente a não agravar demasiado as condições de circulação dos comboios lentos. Na verdade, em condições de excesso de escala, a rotação da caixa por deformabilidade das molas da suspensão tem o mesmo sentido da inclinação do plano de rolamento. Se o plano de carga for muito inclinado poderá haver tendência para o escorregamento da carga (fila baixa), agravado pela existência de vibração provocada pela marcha e amplificada por condições de inscrição desfavoráveis. Esta excentricidade da carga tornaria ainda mais intensa a sobrecarga na fila baixa. A limitação da escala máxima pretende assim limitar a inclinação do plano de rolamento dos carris, garantindo a estabilidade das mercadorias a transportar.

### 3.2.4 Insuficiência de escala

Quando a velocidade de um veículo numa curva é maior que a velocidade de equilíbrio, este é submetido a uma força centrífuga não compensada. A escala prática é insuficiente para uma velocidade mais elevada e a resultante das forças desloca-se em direcção do carril exterior da curva. Para uma dada velocidade de circulação, a insuficiência de escala é, por definição, a diferença entre a escala de equilíbrio e a escala, comumente designada por escala prática e determinada pela Equação (3.8), de acordo com a norma (IPQ, 2007).

$$I = D_e - D = \frac{V^2 e}{127R} \cos \alpha - D \quad (3.8)$$

Onde:  $I$  é a insuficiência de escala;  $D_e$  é a escala de equilíbrio;  $D$  é a escala prática;  $V$  é a velocidade de circulação;  $e$  é a distância entre círculos de rolamento das rodas de um eixo;  $R$  é o Raio da curva;  $\alpha$  é o ângulo formado pela intersecção do plano de rolamento dos carris com o plano horizontal de referência.

A insuficiência de escala  $I$  é um parâmetro de cálculo que oferece a primeira informação sobre os esforços transversais na via, já que o seu valor é directamente proporcional ao da aceleração lateral não compensada. Os valores de ( $I$ ), ou de ( $a_q$ ), são fixados tendo por base considerações sobre o conforto, solicitações na via, segurança e aspectos económicos relativos à manutenção da via.

### 3.2.5 Excesso de escala

A aceleração lateral não compensada pode estar dirigida para o interior da curva, considerando-se então negativa, resultando um excesso de escala. As rodas exercem uma sobrecarga sobre o carril interior. Numa linha em que se verifique uma diferença significativa entre a velocidade dos comboios rápidos ( $V_{máx.}$ ) e a dos mais lentos ( $V_{min.}$ ) é fixado um limite para o excesso de escala, dado pela Equação (3.9), de acordo com a norma (IPQ, 2007).

$$E = D - \frac{V_{min}^2 e}{127R} \cos \alpha \quad (3.9)$$

Onde:  $E$  é o excesso de escala;  $D$  é a escala prática;  $V_{min}$  é a velocidade mínima em curva dos comboios lentos;  $e$  é a distância entre círculos de rolamento das rodas de um mesmo eixo;  $R$  é o raio

da curva;  $\alpha$  é o ângulo formado pela intersecção do plano de rolamento dos carris com o plano horizontal de referência.

O valor do excesso de escala tem impacto directo nas tensões induzidas no carril da fila baixa pelos comboios mais lentos, sobretudo os de mercadorias, mais pesados e nos quais o centro de gravidade é relativamente alto.

### 3.2.6 Relação entre a aceleração lateral não compensada e a insuficiência de escala

Segundo Molinari (1999), a relação entre a aceleração lateral não compensada ( $a_q$ ) e a insuficiência de escala ( $I$ ) é expressa pela Equação (3.10) Estas grandezas são directamente proporcionais.

$$I = \frac{a_q e}{g} \quad (3.10)$$

Onde:  $I$  é a insuficiência de escala;  $a_q$  é a aceleração lateral não compensada;  $e$  é a distância entre círculos de rolamento das rodas de um eixo;  $g$  é a aceleração da gravidade.

### 3.2.7 Variação da insuficiência de escala em função do tempo

Para transições com variações uniformes de curvatura e de escala, pode deduzir-se a Equação (3.11) para a variação de insuficiência de escala no tempo (IPQ, 2007).

$$\frac{dI}{dt} = \frac{V_{max} \Delta I}{3,6l} \quad (3.11)$$

Onde:  $\frac{dI}{dt}$  é a variação da insuficiência de escala em função do tempo;  $V_{max}$  é a velocidade máxima em curva dos comboios rápidos;  $\Delta I$  é a variação total da insuficiência de escala ao longo de uma curva de transição entre um alinhamento recto e uma curva circular ou entre duas curvas circulares adjacentes;  $l$  é o comprimento da curva de transição ou do segmento onde se verifica a variação de escala.

### 3.2.8 Variação da escala em função do tempo

Através deste parâmetro exprimem-se as velocidades de ascensão das duas rodas de um mesmo eixo durante a passagem por uma transição. Para variações de escala com declive uniforme, é desejável que se verifique a relação (3.12) de acordo com a norma (IPQ, 2007).

$$\frac{dD}{dt} = \frac{\Delta D V_{m\acute{a}x}}{3,6l} \quad (3.12)$$

Onde:  $\frac{dD}{dt}$  é a variação da escala em função do tempo;  $V_{m\acute{a}x}$  é a velocidade máxima em curva dos comboios rápidos;  $\Delta D$  é a variação total da escala ao longo de uma curva de transição, entre um alinhamento recto e uma curva circular ou entre duas curvas adjacentes de raios diferentes;  $l$  é o comprimento da curva de transição ou do segmento onde se verifica a variação de escala.

### 3.2.9 Variação da escala em função do comprimento (disfarce de escala)

Entre os alinhamentos rectos e a curva circular, ou entre duas curvas circulares de raios diferentes estabelecem-se as curvas de concordância do traçado ao longo das quais a curvatura e a escala devem variar proporcionalmente. A variação de escala, crescente ou decrescente, no comprimento da curva de concordância, designa-se de disfarce de escala.

No dimensionamento deste parâmetro deve ser tido em consideração que o valor a adoptar será condicionado pelo conforto dos passageiros e a segurança do sistema. Para a verificação dos requisitos relativos ao conforto, os valores são obtidos a partir da Equação (3.13). Quanto à segurança, o valor deve ser definido tendo em conta o ponto de vista do descarrilamento (ORE, 1983).

$$\frac{dD}{dl} = \frac{3,6}{V_{m\acute{a}x}} \frac{dD}{dt} \quad (3.13)$$

Onde:  $\frac{dD}{dl}$  é a variação de escala em função do comprimento;  $V_{m\acute{a}x}$  é a velocidade máxima em curva dos comboios rápidos;  $\frac{dD}{dt}$  é a variação da escala em função do tempo.

### 3.2.10 Conforto

A aceleração transversal quase estática na caixa do veículo que é sentida pelos passageiros é mais elevada que a aceleração transversal não compensada no plano da via, como reflectido na Equação (3.14).

$$a_i = (1 + s)a_q \quad (3.14)$$

Onde:  $a_i$  é a aceleração lateral quase estática paralela ao pavimento do veículo;  $s$  é o coeficiente de souplesse;  $a_q$  é a aceleração lateral não compensada no plano da via.

### 3.3 Resistência da via aos esforços transversais

A segurança da circulação dos veículos é assegurada enquanto se mantém o contacto entre as rodas e os carris. São três os principais riscos que podem conduzir à rotura deste contacto: de ripagem da via, de descarrilamento e de derrube. Estes são provocados por esforços transversais, estritamente ligados aos esforços verticais. Um eixo é, simultaneamente, submetido a uma carga vertical total  $P$  e a uma força transversal  $H$ . Cada uma das rodas é submetida respectivamente a um esforço vertical  $Q_1$  e  $Q_2$  e um esforço horizontal  $Y_1$  e  $Y_2$  (Alias, 1984).

#### 3.3.1 Esforço de ripagem

O esforço de ripagem corresponde a um deslocamento lateral da via  $e$ , em consequência, uma deformação progressiva  $e$ , normalmente irreversível. A ripagem é função do valor da relação  $\frac{H}{P}$ . Os esforços transversais  $H$  exercidos por um eixo sobre a via apresentam-se na forma de uma soma de dois termos, um quase-estático e outro aleatório. Segundo Alias (1984), o termo quase-estático  $H_s$  expresso pela Equação semi-empírica (3.15) é devido à parte não compensada da força centrífuga, proporcional à insuficiência de escala e ao peso de um eixo.

$$H_s = \gamma \frac{IP}{e} \quad (3.15)$$

Onde:  $H_s$  é a componente transversal quase estática da carga em curva circular;  $\gamma$  é o coeficiente que tem em conta a repartição heterogénea da força centrífuga entre os dois eixos de um bogie (o seu valor máximo é de 1,1);  $I$  é a insuficiência de escala;  $P$  é a carga por eixo;  $e$  é a distância entre círculos de rolamento das rodas de um eixo.

O termo aleatório expresso na Equação (3.16) resulta da resposta do veículo ao impacto provocado pelo traçado e defeitos da via e depende essencialmente das características do veículo (estabilidade própria), da qualidade do alinhamento e do nivelamento transversal da via e da velocidade de circulação (Pita, 2006 e Lupiañez, 2010).

$$H_a = \frac{0,35PV}{1000} + \frac{75(U-1)}{1000} \text{ para } V \ll V_c \quad (3.16)$$

Onde:  $H_a$  é a resultante da resposta do veículo ao impacto provocado pelo traçado e defeitos da via;  $P$  é a carga por eixo;  $V$  é a velocidade de circulação;  $U$  é o índice da qualidade da via, função dos

defeitos de nivelamento transversal e alinhamento, cujos valores são indicados no Quadro 3.1;  $V_c$  é a velocidade crítica do veículo.

Quadro 3.1 – Índice da qualidade da via.

U (mm)	Qualidade da via
2 a 2,5	Muito boa
3 a 3,5	Boa
4 a 5	Média
6	Medíocre

Segundo Alias (1974), o limite da resistência transversal da via em carga designa-se por limite de Prud'homme (formulação genérica), o qual corresponde ao limite mais baixo para os diferentes tipos de vias ensaiadas. Este limite é dado pela Equação (3.17).

$$\sum y_{lim} = \alpha \left( 10 + \frac{P}{3} \right) \quad (3.17)$$

Onde:  $\sum y_{lim}$  é o limite da força transversal;  $\alpha$  é coeficiente que varia de 0,85 a 1;  $P$  é a carga por eixo.

### 3.3.2 Descarrilamento

Quando um veículo ferroviário circula numa curva de raio reduzido pode acontecer que a diferença de raios entre as rodas exterior e interior de um eixo ao deslocar-se na via, não seja suficiente para absorver a diferença de comprimento que têm de percorrer sobre os respectivos carris. Neste caso, gera-se uma força de elevação, causada pelo ângulo de ataque e a força lateral, que pressiona o verdugo contra o carril. Quanto maior é a pressão entre o verdugo e o carril exterior, maior é a força de elevação (Alias, 1984).

Num eixo de um veículo submetido a uma carga vertical  $Q$  e a um esforço horizontal  $H$ , cada uma das rodas fica submetida a um esforço vertical  $Q_1$  e  $Q_2$  e a um esforço horizontal  $Y_1$  e  $Y_2$ , respectivamente. O risco de descarrilamento da roda de guiamento, em curva, é em geral avaliado pelo coeficiente de descarrilamento  $\left( \frac{Y_1}{Q_1} \right)$ , relação entre o esforço transversal da roda de guiamento e a carga instantânea nessa roda. Esta relação traduz o esforço exercido pela roda, num movimento de elevação, para vencer as forças de atrito existentes entre as superfícies de contacto da roda e do carril.

O coeficiente de descarrilamento é expresso pela Equação de Nadal (3.18) que resulta da formulação do equilíbrio de forças expressas na Figura 3.3, e que permite calcular o impulso estático crítico de descarrilamento (Alias 1974).

$$Y_1 = Q_1 \frac{\tan \beta - f}{1 + f \tan \beta} \quad (3.18)$$

Onde:  $Y_1$  é a força de guiamento ou limite de descarrilamento;  $Q_1$  é a carga vertical numa das rodas;  $\beta$  é o ângulo de inclinação do verdugo da roda no ponto de contacto;  $f$  é o valor do coeficiente de atrito entre as superfícies de contacto verdugo-carril.

A força de guiamento ou limite de descarrilamento ( $Y_1$ ), é função do ângulo ( $\beta$ ) de inclinação do verdugo da roda no ponto de contacto, tipicamente de  $70^\circ$  nas redes europeias, e de ( $f$ ), valor do coeficiente de atrito entre as superfícies de contacto verdugo-carril, que toma valores diferentes mediante a condição de carril molhado ou seco.

As regras da Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) fixam a relação  $\left(\frac{Y_1}{Q_1}\right)$  em 1,2 para evitar o descarrilamento, mas uma série de ensaios realizados na Société Nationale des Chemins de Fer Français (SNCF) mostram que é suficiente que a relação  $\left(\frac{Y_1}{Q_1}\right)$  seja inferior a um valor limite  $\left(\frac{Y_1}{Q_1}\right)$  por quilómetro que é função decrescente do ângulo de ataque e da consequente curvatura da via (UIC 2003).

Para que um descarrilamento ocorra é necessário que a roda tenha tempo para subir para o carril e para isso é necessário que o esforço horizontal seja aplicado durante um período de tempo suficiente, razão pela qual se faz a filtragem de alguns esforços de curta duração para a determinação das velocidades máximas admissíveis.

Dos vários ensaios que têm sido efectuados tem-se constatado que a ripagem da via ocorre antes do descarrilamento. A questão coloca-se nas curvas de pequeno raio, assim como nas vias desviadas dos Aparelhos de Mudança de Via (AMV) onde os ângulos de ataque são muito elevados e o coeficiente de atrito tem um papel importante.

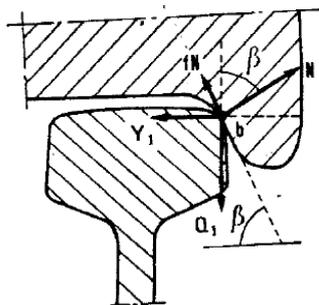


Figura 3.3 – Força transversal entre a roda e o carril

### 3.3.3 Derrube

As condições de derrube estão reunidas quando um veículo, sob efeito de uma aceleração lateral elevada em curva, resultante de uma insuficiência de escala acentuada no plano da via, inicia uma rotação em torno do carril exterior. Como consequência as rodas interiores dos eixos sofrem uma diminuição de carga de acordo com o expresso na norma (IPQ, 2007). A equação do momento quase estático é dada pela Equação (3.19).

$$\frac{\Delta Q}{Q_0} = \frac{2h_g I}{e^2} \quad (3.19)$$

Onde:  $\Delta Q$  é a variação total da carga da roda;  $Q_0$  é a carga nominal da roda;  $h_g$  é a altura do centro de gravidade do veículo;  $I$  é a insuficiência de escala;  $e$  é a distância entre círculos de rolamento das rodas de um eixo.

Uma das filas do carril ficará sobrecarregada de  $Q_0 \frac{hgI}{e^2}$  e a outra aliviada do mesmo valor. Em face das relações  $H_s = \gamma \frac{IP}{e}$  e  $\Delta Q = Q_0 \frac{hgI}{e^2}$ , podemos afirmar que os valores limite da insuficiência de escala variam respectivamente com a bitola da via e com o quadrado da bitola. O armamento da via terá de garantir a resistência à ripagem provocada por  $H_s$  e a repartição de cargas de uma para a outra fila do carril não deve exceder determinado valor, para não colocar em risco a segurança das circulações. O valor limite da relação  $\frac{\Delta Q}{Q_0}$  varia de rede para rede, ainda que dentro de certos limites de segurança. É função de condicionalismos de carácter económico na medida em que quanto mais elevados forem, maiores serão os encargos de manutenção da infra-estrutura e superestrutura.

### 3.4 Gabaritos

Os gabaritos ferroviários permitem determinar as dimensões máximas de construção do material motor e rebocado, assim como a posição dos obstáculos fixos em relação à via-férrea. São definidos verticalmente em relação ao plano de rolamento dos carris e horizontalmente em relação ao eixo da via.

Do conceito de gabarito resulta um perfil transversal cujos pontos são posições limite, que podem ser atingidas mas não ultrapassadas, quer pelos órgãos dos veículos quer pelos obstáculos fixos. Estabelecendo as posições limite podemos, por um lado, estudar a implantação das instalações fixas com a garantia de não haver interferências, ou mesmo deixando espaço livre para transportar cargas de maiores dimensões e, por outro lado, proporcionar a máxima ocupação do material circulante.

A definição do perfil envolvente das posições mais desfavoráveis é determinado para cada secção transversal, pela aplicação de um conjunto de regras associadas que representam leis matemáticas associadas a cada contorno de referência a fim de permitir dimensionar uma infraestrutura ou material circulante.

Um gabarito compreende assim dois elementos fundamentais, um contorno de referência e as regras associadas a esse contorno de referência. Este define-se como a linha de referência que representa uma secção transversal perpendicular ao eixo da via, em relação à qual se aplica um conjunto de regras de dimensionamento do material circulante e do afastamento da infraestrutura, definidas na norma CEN (2009), EN 15273: 2009, partes 1-2-3, com vista à obtenção do gabarito máximo de construção do material circulante e do gabarito limite dos obstáculos.

As regras associadas ao contorno de referência para determinar o gabarito limite de obstáculos devem ter em conta, além do contorno de referência, o espaço livre adicional para inscrição em curva, o desvio devido ao efeito quase-estático e a soma dos desvios adicionais para segurança, cobrindo certos fenómenos aleatórios. Nos fenómenos aleatórios estão incluídos factores relacionados com a via, tais como defeitos de alinhamento e nivelamento; e com os veículos: desigual repartição das cargas e deficiente regulação das suspensões e, ainda, as oscilações laterais devidas à interacção entre os veículos e a via. A norma CEN (2009), 15273-3: 2009 define as regras para a determinação dos gabaritos de obstáculos estático, cinemático e dinâmico. Actualmente o dimensionamento dos gabaritos limite de obstáculos,

no caso português, é efectuado tomando como base o contorno de referência cinemático estabelecido na referida norma e representado na Figura 3.4.

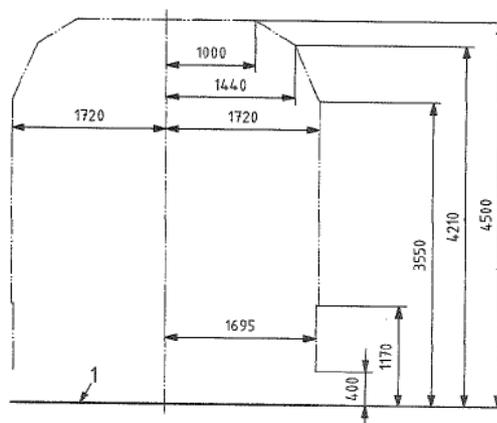


Figura 3.4 - Contorno de referência do gabarito PTb+

Diferenciam-se ali várias dimensões para a meia largura do contorno de referência, em que a primeira tem como limite 1170 mm de altura, sendo nesta que se encaixam as plataformas de passageiros. As bordaduras das plataformas de passageiros formam um obstáculo particular devido à proximidade que têm de manter relativamente aos veículos. Devem ser implantadas o mais próximo possível dos comboios de passageiros, garantindo a segurança do tráfego ferroviário. É importante delimitar a lacuna entre o acesso aos veículos e a bordadura da plataforma oferecendo uma acessibilidade correcta. A designação de 1, na Figura 3.4, corresponde ao plano de rolamento dos carris.

A posição da bordadura das plataformas deve respeitar a soma das parcelas expressas na Equação (3.20). As parcelas mais complexas que a integram representam a margem de segurança (horizontal) devida a fenómenos aleatórios (Equação 3.21) e o efeito quase estático (Equação 3.22).

$$b_q \geq b_{CR_{cin}} + S_{cin} + |qS_i \text{ ou } qS_a| + \Sigma_{cin} \quad (3.20)$$

$$\Sigma_{cin} \geq k \sqrt{T_{via}^2 + \left[ \frac{T_D}{L} h + s_0 \frac{T_D}{L} [h - h_{c0}]_{>0} \right]^2 + \left[ \left( \frac{s_0}{L} T_{osc} \right)^2 + (\tan T_{carg})^2 + (\tan T_{sus})^2 \right] ((h - h_{c0})_{>0})^2} \quad (3.21)$$

$$qS_i = z_0 + \frac{s_0}{L} [D - D_0]_{>0} [h - h_{c0}]_{>0} \quad (3.22)$$

Em que  $z_0$  é dado pela Equação (3.23):

$$z_0 = \frac{s_0(D_0 \text{ ou } I_0)}{L}(h - h_{c0}) \quad (3.23)$$

Onde:  $b_q$  é a meia largura de implantação dos cais;  $b_{rcin}$  é a meia largura do contorno de referência cinemático;  $D$  é a escala prática;  $D_0$  é o valor da escala adoptado, por convenção, entre o material circulante e a infraestrutura;  $h$  é altura medida em relação ao plano de rolamento;  $h_c$  é a altura do centro de roulis;  $h_{c0}$  é o valor de  $h_c$  tido por convenção entre o material circulante e a infraestrutura;  $k$  é o coeficiente de amplificação no cálculo das margens;  $L$  é a distância entre eixos de carris da mesma via;  $qs_i$  é o deslocamento devido à inclinação quase estático tido em conta pela infraestrutura no exterior do contorno de referência, do lado interior da curva;  $qs_a$  é o deslocamento devido à inclinação quase estático tido em conta pela infraestrutura no exterior do contorno de referência, do lado exterior da curva;  $S_{cin}$  é a saliência autorizada do lado interior ou exterior da curva;  $s_0$  é o valor do coeficiente de souplesse tido em consideração por convenção entre o material circulante e a infraestrutura;  $T_{carg}$  é o ângulo de dissimetria devido à má repartição de cargas;  $T_D$  são os defeitos de escala entre períodos de manutenção;  $T_{osc}$  é o ângulo de inclinação aleatória devido às oscilações provocadas pelas irregularidades da via;  $T_{via}$  é o deslocamento transversal da via entre dois períodos de manutenção;  $T_N$  é a tolerância do nivelamento transversal;  $z_0$  é o valor colocado à disposição do material circulante no exterior do contorno de referência estático para permitir a inclinação quase estática do material circulante;  $\sum_{cin}$  é a soma das margens de segurança (horizontal) para o gabarito de obstáculos considerando os fenómenos aleatórios.

A Equação (3.22) é utilizada no cálculo considerando o interior da curva. Para o exterior, os valores correspondentes à escala da curva são substituídos pelos valores da insuficiência de escala. Esta formulação refere-se à implantação transversal do gabarito, a que acresceria a referente à implantação vertical, que será dispensada, por se considerar a apresentada suficiente para evidenciar o impacto que a geometria da via, na zona das plataformas de passageiros, pode apresentar nas acessibilidades e interferências entre o material circulante e as referidas plataformas, já que o desenvolvimento destas acompanha o do traçado.

### 3.5 Considerações finais

A bitola é uma característica fundamental tanto do traçado como da exploração ferroviária. Em cada caso, a aplicação de um determinado tipo de bitola exigirá um aprofundado estudo técnico e económico para chegar à solução mais vantajosa. A formulação atrás enunciada permite evidenciar o papel preponderante da bitola na medida em que dela dependem vários parâmetros a fixar no dimensionamento de uma via, com implicação directa nos custos de investimento e manutenção.

## 4 CASO DE ESTUDO

### 4.1 Resumo histórico da Linha de Guimarães

A construção da Linha de Guimarães remonta ao século XIX. A viagem, originalmente, era iniciada na estação da Trindade no Porto e seguia juntamente com a Linha da Póvoa até à estação da Senhora da Hora. Nesta estação as duas linhas divergiam, seguindo uma à beira-mar até à Póvoa de Varzim e a outra seguia para o interior em direcção à Trofa. Na cidade da Trofa a via entroncava com a Linha do Minho, divergindo depois na estação de Lousado. A partir daqui a via separava-se da Linha do Minho e seguia através do Vale do Ave e depois pela margem do rio Vizela, até Guimarães.

Foi através do Decreto-lei de Julho de 1872 (CP@, 2011), que o empresário Simão Gattai recebeu a concessão para construir e explorar uma linha de caminho-de-ferro, em via métrica, do Porto até Braga, passando por Santo Tirso e Guimarães. A ligação de Fafe a Braga ficou-se pelo projecto. Volvidos aproximadamente dois anos (1874) a concessão foi trespassada a uma companhia de nacionalidade inglesa denominada “Minho District Railway Company Limited”. No entanto, a construção revela-se muito morosa, pois em 1879 apenas tinham sido construídos cerca de seis quilómetros de via-férrea, altura em que a empresa declara falência.

O contrato foi revogado em Abril de 1879 e, no mesmo dia, foi dada a concessão a António de Moura Soares Veloso e ao Visconde Ermida, para a construção de uma ligação ferroviária, em via larga, entre Guimarães e Bougado. Contudo, em 1880 foi satisfeito o pedido para a construção da linha em bitola métrica, como tinha sido estabelecido inicialmente.

O troço entre Trofa e Vizela abre à exploração em Dezembro de 1883, sendo o troço a partir da Trofa, incluindo a travessia do Rio Ave, pela Ponte do Ave, construído em via algaliada (via estreita instalada no meio da via larga). Em Abril de 1884 a linha chega a Guimarães e é inaugurada esta estação.

Em Novembro de 1901 o rei D. Carlos autorizou a Companhia do Caminho de Ferro de Guimarães a construir e explorar o troço entre Guimarães e Fafe. Tal como o resto da linha, este novo troço foi construído em bitola métrica e é aberto à exploração em 1907.

O prolongamento da Linha de Guimarães entre a Senhora da Hora e a Trofa foi executado pela Companhia Norte em 1932, concretizando-se assim a ligação da Linha da Póvoa de Varzim à Linha de Guimarães, na Senhora da Hora. O túnel da Trindade fica concluído em

1938 e todos os comboios que anteriormente saiam do Porto-Boavista, passaram a sair da nova estação de Porto-Trindade.

A CP - Caminhos de Ferro Portugueses completou em 1949 o circuito integral das vias estreitas à volta do Porto, ligando as linhas da Póvoa de Varzim, da Póvoa de Varzim a Famalicão, e a de Guimarães, entre a Senhora da Hora e Lousado, por algaliamento do troço entre Lousado e Famalicão, como o que já existia entre a Trofa e Lousado. O traçado entre Guimarães e Fafe, numa extensão de 21.450 m, veio a encerrar em 1990.

A primeira intervenção de reconversão da via estreita em via larga apenas teve início em 1997 no troço entre Lousado e Santo Tirso, com uma extensão de 6 km, e entrou em exploração em 1998. O início da construção do troço compreendido entre Santo Tirso e Lordelo teve lugar em Dezembro de 2001, tendo ficado concluído em Outubro de 2003. A reconversão desta linha ficou concluída em Janeiro de 2004, com a abertura à exploração do último troço entre Lordelo e Guimarães. Com uma extensão de aproximadamente 30 km, a Linha entre Lousado e Guimarães, totalmente remodelada para via larga electrificada, foi inaugurada em 19 de Janeiro de 2004, permitindo a circulação de comboios suburbanos entre o Porto e a moderna estação de Guimarães, enquanto o antigo troço de caminho-de-ferro entre a estação de Porto-Trindade e a Trofa foi reconvertido e inserido na rede do metro do Porto. A cidade de Guimarães passou a beneficiar de uma ligação directa a Lisboa, após o início do serviço intercidades em 6 de Junho de 2004.

Actualmente a designada Linha de Guimarães corresponde ao troço ferroviário entre Lousado e Guimarães, sendo a continuidade do serviço até São Bento (Porto), efectuada através da Linha do Minho (Figura 4.1).

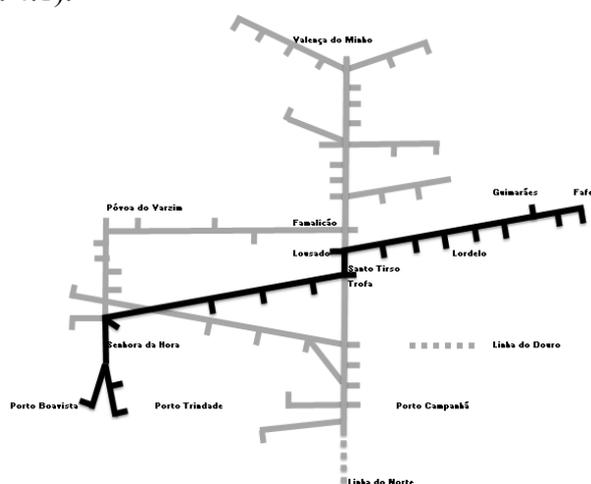


Figura 4.1 - Linha de Guimarães e ligações na sua origem

## 4.2 Considerações gerais

A opção de converter uma via estreita em via larga é na maior parte das vezes ditada pela vontade de empregar uma bitola que facilite as inter-conecções com a restante rede e evitar os interfaces decorrentes da utilização de duas bitolas. Não foge à regra a reconversão da Linha de Guimarães, de via estreita para via larga, cujo principal objectivo foi proporcionar ao Vale do Ave a beneficiação da modernização da rede suburbana ferroviária do Grande Porto, com a continuidade do serviço de passageiros, desde a estação São Bento (Porto) até Guimarães. Mais tarde o serviço de longo curso, desde Lisboa-Santa Apolónia até à cidade de Guimarães possibilitou a ligação directa entre as duas cidades.

As vantagens que se afiguram resultantes da prestação de serviços directos trazem consigo o advento de dotar as infra-estruturas de requisitos técnicos que permitam esse feito. É sobre as diversas componentes técnicas a nível das infra estruturas, tais como a geometria da via, perfil transversal, armamento de via, que resultaram da reconversão da via estreita em via larga, que iremos centrar a análise e procurar conclusões sobre o comportamento da via e impacto na sua manutenção.

O traçado desenvolve-se, no seu início, quase lado a lado com o Rio Ave e tem sequência no Rio Vizela, que em circunstâncias idênticas passa a fazer companhia ao comboio. A ocupação urbana é do tipo disperso e denso e de distribuição assimétrica relativamente à linha, verificando-se em alguns pontos, sobretudo nas proximidades das povoações, características de povoamento concentrado. O traçado manteve em vários troços a localização sobre a plataforma de origem, verificando-se noutros ripagens de menor ou maior dimensão, sem se poderem considerar variantes (Figura 4.2).



Figura 4.2 – Traçado geral da Linha de Guimarães

### 4.3 Caracterização do serviço

Actualmente, a Linha de Guimarães corresponde ao troço ferroviário compreendido entre as estações de Lousado e Guimarães. Presta dois tipos de serviço, um maioritariamente suburbano que se estende para além da estação de Lousado até São Bento (Porto), em canal da Linha do Minho e, outro, de longo curso, ligando a estação de Santa Apolónia à de Guimarães.

O serviço conta com cerca de 36 circulações diárias, das quais apenas 2 efectuem serviço longo curso (Intercidades), uma em cada sentido, com paragem no percurso que efectuem na Linha de Guimarães nas estações de Santo Tirso, Caniços e Guimarães. Das restantes 34 circulações, 29 percorrem todo o itinerário da Linha de Guimarães, efectuando paragem em todas as estações e apeadeiros e 5 fazem apenas o trajecto entre Lousado e Santo Tirso.

### 4.4 Material circulante

O serviço suburbano é efectuado com Unidades Múltiplas Eléctricas articuladas (UME) da série 3400, em serviço desde 2002. O serviço Intercidades é efectuado com locomotivas da série 5600 e carruagens.

Especificam-se no Quadro 4.1 alguns parâmetros do material circulante predominante (UME) que se utilizam no cálculo das infra-estruturas (CAT 0005 Edição 01 da CP).

Quadro 4.1 - Parâmetros do material circulante

Parâmetro	Valor
Composição	Um veículo motor em cada extremidade e dois intermédios
Velocidade	140 Km/h
Peso por eixo rodados motores (máx.)	20,5t
Peso por eixo rodados livres (máx.)	13,0t
Distância entre pivôts dos veículos motores	15060 mm
Distância entre pivôts dos veículos reboque	15320 mm
Embasamento dos bogies dos veículos	Bogies extremos: 2200 mm Bogies intermédios: 2800 mm
Diâmetro das rodas	850 mm (novo), 780 mm (limite de uso)
Coefficiente de souplesse	Veículos extremos: 0,13 Veículos intermédios: 0,12

#### 4.5 Caracterização da via-férrea

Os estudos da reconversão da Linha de Guimarães em via estreita na sua origem não puderam ser alheios às condicionantes locais, oferecidas sobretudo pela existência de alguns aglomerados populacionais ao longo da via, pelos gabaritos disponíveis em vários pontos singulares, pela proximidade, quase constante, dos rios Vizela e Ave e pela orografia envolvente à linha.

O traçado de origem encontra-se reflectido em numerosos troços tendo em conta que o traçado final de via larga resultou sem recurso a grandes rectificações, nomeadamente construção de variantes. Tal facto conduz a que o traçado de via larga (bitola 1668 mm), apresente extrema sinuosidade, praticamente sem paralelo em toda a rede em exploração, o que implica cuidados de manutenção acrescidos.

No contexto desta análise teremos de ter presente que a linha apenas é percorrida por tráfego de passageiros, com cargas por eixo relativamente baixas. O troço objecto de análise tem início na estação de Lousado e termina em Guimarães, numa estação de testa. Foi subdividido em três subtroços, Lousado - Santo Tirso, Santo Tirso - Lordelo e Lordelo - Guimarães, possibilitando diferenciar as características específicas da infra-estrutura e o distinto período de abertura à exploração de cada subtroço. A quilometragem da Linha de Guimarães tem continuidade na da Linha do Minho ao PK 25,179 que corresponde ao ponto de inserção do AMV 3I.

O troço analisado corresponde a uma extensão aproximada de 30 km, compreendido entre os Pk 25,520 (Lousado) e Pk 55,693 (Guimarães), em via única electrificada e equipada com o sistema de sinalização electrónica. O Pk 25,520 corresponde ao do edifício de passageiros da estação de Lousado.

O primeiro subtroço (Lousado - Santo Tirso) fica assim compreendido entre o PK 25,520 e o Pk 29,870, que corresponde ao alinhamento recto que antecede a entrada da estação de Santo Tirso. Segue-se o segundo subtroço (Santo Tirso - Lordelo) com início ao Pk 29,870 e fim ao PK 42,896 e, por último, o terceiro subtroço (Lordelo - Guimarães) com origem no PK 42,896 e término no PK 55,693 (estação de Guimarães). Integram o troço as estações de Lousado, Santo Tirso, Caniços, Vila das Aves, Lordelo, Vizela, Guimarães e os apeadeiros de Giesteira, Cuca, Pereirinhas, Nespereira e Covas, distribuídos como se pode ver no esquema da Figura 4.3 e que mais adiante se descrevem com detalhe.

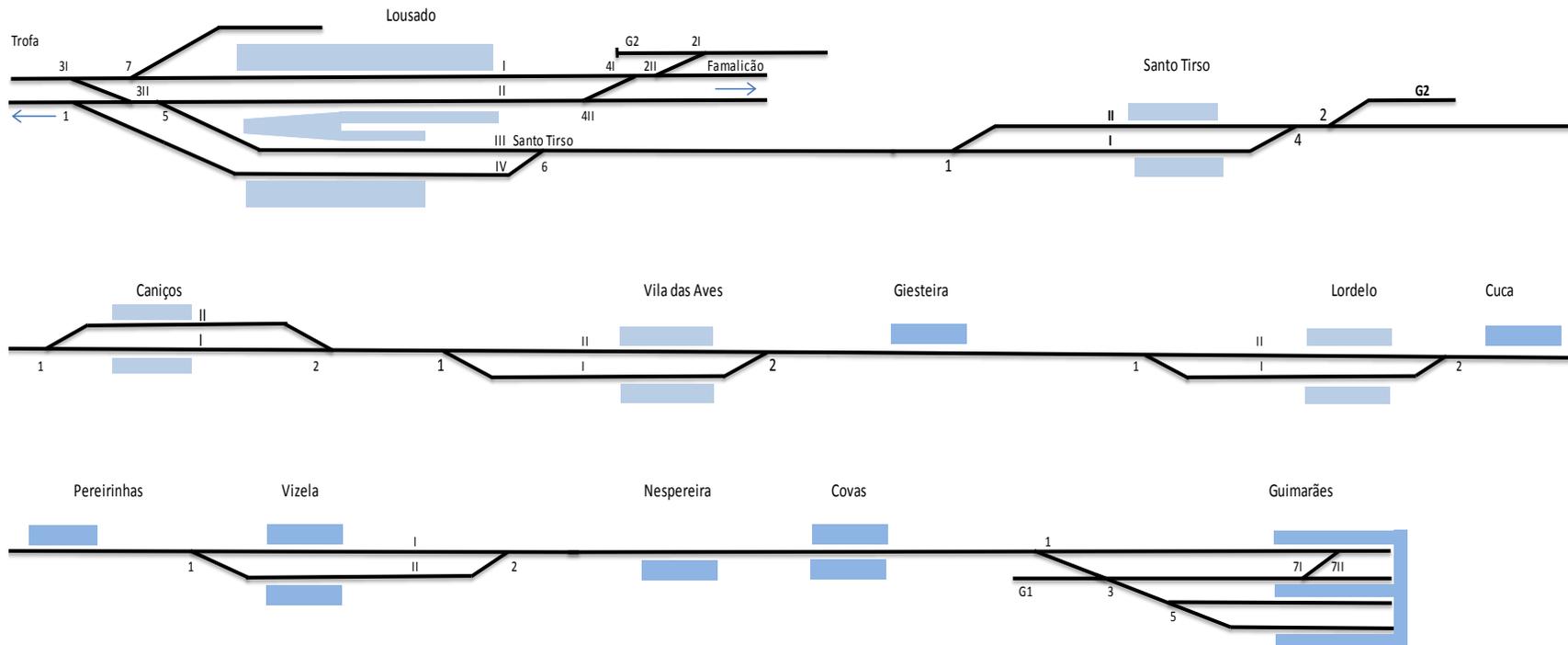


Figura 4.3 - Esquema geral da linha e localização de estações e apeadeiros

A caracterização da via-férrea dá enfoque aos principais parâmetros de projecto que são propósito de análise e são o suporte para avaliar as questões técnicas que decorrem da mudança de uma bitola de via estreita (1000 mm) para uma de via larga (1668 mm).

#### 4.5.1 Traçado em planta

Dos cerca de 30 km de via-férrea que constituem a Linha de Guimarães apenas 23% se desenvolvem em recta, sendo os restantes maioritariamente constituídos por conjuntos de arcos de diferentes raios com curvatura no mesmo sentido e raios com curvatura de sentido oposto, ligados por pontos de inflexão. O troço apresenta um número reduzido de curvas isoladas e alinhamentos rectos, em alguns casos, de curta extensão (Anexos A-1, A-2, A-3, A-4 e A-5).

No Quadro 4.2 são apresentadas as extensões em recta e em curva repartidas pelos três subtroços. Assinala-se que, globalmente, a maior extensão em curva está associada a raios de valor inferior a 400 m.

Quadro 4.2 - Extensão em recta e em curva

Subtroços	Extensão total (m)	Extensão em recta		Nº de curvas	Extensão em curva (m)			
		(m)	%		$R \leq 200$	$200 < R \leq 300$	$300 < R \leq 400$	$R > 400$
Lousado Santo Tirso	4350	997	23	11	-	-	1312	2041
Santo Tirso Lordelo	13026	2223	17	38	-	4976	2193	3634
Lordelo Guimarães	12787	3898	30	35	1745	1955	1731	3458

Dos três subtroços o que apresenta maior sinuosidade é o de Lordelo - Guimarães, que para além de ter uma maior extensão em curva, é o único onde se verifica a existência de raios inferiores a 200 m. Esta situação ocorre na proximidade da estação de Guimarães num conjunto de quatro curvas, três com raios de 196 m e uma com raio de 200 m, ligadas através

de três pontos de inflexão. Devido às características do traçado nesta zona foi, como já referido atrás, aplicada a barra curta.

As curvas são dotadas de escalas que variam entre 67 mm e 125 mm no troço Lousado - Santo Tirso, entre 0 mm e 172 mm no troço Santo Tirso - Lordelo e entre 0 mm e 164 mm no troço Lordelo - Guimarães. É de referir que no primeiro troço a maioria das curvas apresentam valores de escala compreendidos entre 100 mm e 125 mm e no segundo, somente 9 das 38 curvas que compõem o troço são dotadas de escalas acima de 125 mm. Destas apenas 4 se situam acima dos 150 mm, com um valor máximo de 172 mm. As escalas apresentam, assim, valores moderados sobretudo na proximidade das zonas de paragem das composições para diminuir os efeitos nefastos do excesso de escala. A aplicação de escalas moderadas revela a preocupação do projectista de dotar a linha de parâmetros que favorecessem a minimização de desgastes.

Tendo presente as velocidades praticadas e os valores fixados para a escala verifica-se que os valores da insuficiência de escala são, praticamente em todas as curvas, superiores ao do excesso de escala.

Os valores dos parâmetros referentes à variação de escala e de insuficiência de escala em função do tempo apresentam sempre valores bastante abaixo dos valores normais de 75 mm/s e 50 mm/s, respectivamente (IPQ, 2007). Quanto aos valores dos disfarces de escala situam-se, na maior parte das curvas, abaixo dos 1,5 mm/m. Destaca-se apenas que o valor máximo verificado é de 2,4 mm/m e encontra-se materializado nas curvas de entrada na estação de Guimarães, cujos raios têm valores de 196 m.

Todo o troço é caracterizado por uma elevada sinuosidade, mas é sobretudo no terceiro subtroço que se apresenta de forma invulgar, numa linha geral de circulação. Exibe um número significativo de raios considerados reduzidos (196 m) para uma via dotada de bitola 1668 mm.

Como veremos de seguida, o perfil longitudinal apresenta traneis com inclinações elevadas o que, quando conjugado com curvas de raios apertados, introduz um acréscimo na resistência ao avanço dos veículos. O excesso de escala com valores baixos, como é o caso, favorece as condições de circulação com velocidade reduzida e tráfego dominante com paragens frequentes.

A linha, apenas com serviço de passageiros, tem associada uma carga por eixo relativamente baixa, quando comparada com a carga por eixo de comboios de mercadorias. Não está dotada

de infra-estruturas para serviço de mercadorias pelo que não é espectável que este tipo de serviço venha a ser uma realidade. Porém, se se vierem a alterar as condições de exploração actuais, carga por eixo e/ou as características das composições, deverá requerer-se a verificação das condições de segurança e conforto.

#### 4.5.2 Traçado em perfil longitudinal

A configuração do perfil longitudinal (Figura 4.4) reflecte, tal como o traçado em planta, a origem da linha. Trata-se de um traçado irregular quanto às extensões dos traineis e respectivas inclinações. O posicionamento das curvas verticais e pontos de quebra relativamente às curvas horizontais nem sempre foi possível harmonizar.

Devido a condicionantes orográficas e urbanas, a linha apresenta um perfil, maioritariamente, com troços em rampa e pendente e onde os patamares são diminutos, sobretudo entre Santo Tirso e Guimarães. O troço Lousado - Santo Tirso apresenta um relativo equilíbrio entre rampas e pendentes, resultando um perfil onde só pontualmente se verificam variações no valor e sentido das inclinações. Entre Santo Tirso e Lordelo verifica-se uma alternância entre valores de inclinações, mais moderados e mais elevados, sendo o valor da inclinação máxima da ordem dos 14%. É no troço Lordelo - Guimarães que o perfil longitudinal apresenta as características mais adversas. Predominam traineis com valor de inclinação acima dos 11%, sendo a inclinação máxima da ordem dos 18% e extensões de traineis, em situações várias, acima dos 1000 m. O raio mínimo adoptado nas concordâncias côncavas e convexas foi de 6400 m.

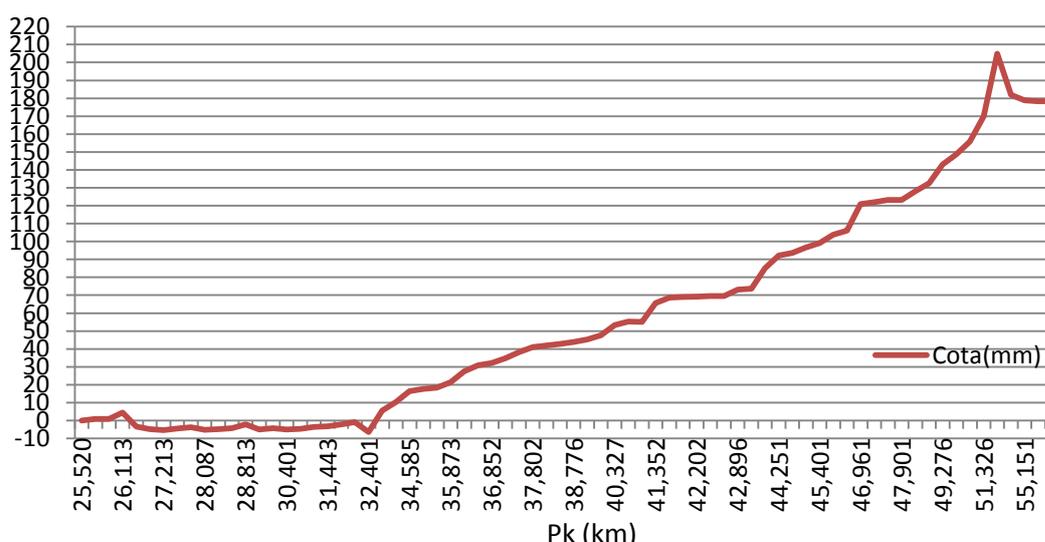


Figura 4.4 – Representação esquemática do perfil longitudinal

A harmonização da posição dos elementos de traçado em planta e perfil nem sempre foi conseguida, pois em várias situações ocorrem sobreposições de curvas de concordância vertical com elementos circulares e transições das curvas em planta.

Houve necessidade de proceder a rectificações nas zonas de influência das passagens superiores existentes, para garantir gabarito livre, e adaptações da rasante em zonas de estações, de forma a facilitar os interfaces, aspectos que condicionaram, também, a optimização do perfil. O perfil de referência utilizado é, normalmente, o da fila baixa. No entanto, nas transições entre curvas de sentidos opostos com ponto de inflexão, o disfarce de escala foi feito com ambas as filas de carril, habitualmente designado de meia escala.

Neste caso, a conjugação do perfil longitudinal com o traçado em planta apresenta um papel significativo se tivermos em consideração o incremento que raios reduzidos introduzem nas rampas e pendentes.

As curvas de raios mais reduzidos vão originar uma resistência ao movimento que depende, essencialmente, do atrito entre os verdugos das rodas e as faces laterais da cabeça do carril e do deslizamento das rodas sobre os carris, uma vez que a suspensão primária não permite liberdade de movimento ao rodado, quer no sentido longitudinal, quer transversal para uma inscrição radial dos eixos dos bogies.

Essa resistência depende das características do material circulante e das suas condições de inscrição em curva e naturalmente do raio da curva ( $R$ ). Segundo Gonçalves (1974), para um dado material circulante, a resistência específica é dada pela Equação (4.24).

$$r_c = \frac{K}{R} \quad (4.24)$$

$K$  é uma constante que depende do coeficiente de atrito entre o carril e o aro da roda, características do material circulante como o embasamento, bitola e sobrelargura da via. Para a via larga é considerado o valor 850 (Gonçalves, 1974).

Considerando as resistências ao movimento devido às curvas e à inclinação dos traineis, consequência da componente do peso paralela à via resulta, a noção de perfil compensado ou rampa integral é expressa pela Equação (4.25).

$$i_c = i + \frac{K}{R} \quad (4.25)$$

Uma rampa de valor  $i$  mm/m corresponde a uma resistência específica ao movimento de  $i$  kg/ton. Esta noção é de grande interesse não só na resolução de problemas de tracção mas também no estudo dos próprios traçados.

### 4.5.3 Estações e apeadeiros

Da Linha de Guimarães fazem parte integrante 7 estações: Lousado, Santo Tirso, Caniços, Vila das Aves, Lordelo, Vizela e Guimarães e 5 apeadeiros: Giesteira, Cuca, Pereirinhas, Nespereira e Covas.

A caracterização das estações e apeadeiros centrar-se-á apenas nas vertentes traçado de via e infra-estruturas envolventes, nas quais ocorram implicações directas em consequência da configuração do traçado, como é o caso das plataformas de passageiros. Todas as plataformas de passageiros localizadas neste itinerário apresentam um comprimento de 150 m e o pavimento a 0,90 m, medidos em relação ao plano de rolamento dos carris (REFER@,2011). Exceptua-se a estação de Lousado, na qual a altura da plataforma de passageiros é de 0,70 m.

#### 4.5.3.1 Estação do Lousado

A estação de Lousado estabelece o interface ferroviário entre a Linha do Minho e a de Guimarães. É constituída por 4 linhas de circulação (I, II, III e IV), duas (I e II) afectas à exploração da Linha do Minho e as restantes ao serviço da Linha de Guimarães (Figura 4.5). Na Linha de Guimarães, que importa caracterizar, as duas linhas apresentam comprimentos úteis de 222 m e 350 m e as duas plataformas aí existentes estão implantadas do lado exterior das vias. Uma das plataformas apresenta um tronco comum, no topo poente, com a que serve a Linha do Minho, divergindo à medida que as linhas se afastam, com cada uma a acompanhar o desenvolvimento do traçado da linha que serve.

As plataformas de passageiros estão implantadas em troços cujo traçado apresenta um desenvolvimento em alinhamento recto. Atendendo a que o início da análise ocorre ao Pk 25,520, não analisaremos as condições dos AMV de entrada (1 e 5) na estação, mas apenas as do AMV 6 de saída, que se encontra, também, instalado em alinhamento recto. Porém, localiza-se a uma distância inferior a 50 m da transição de saída da curva nº 1. O perfil longitudinal da estação na zona analisada apresenta um pendente da ordem dos 6‰.

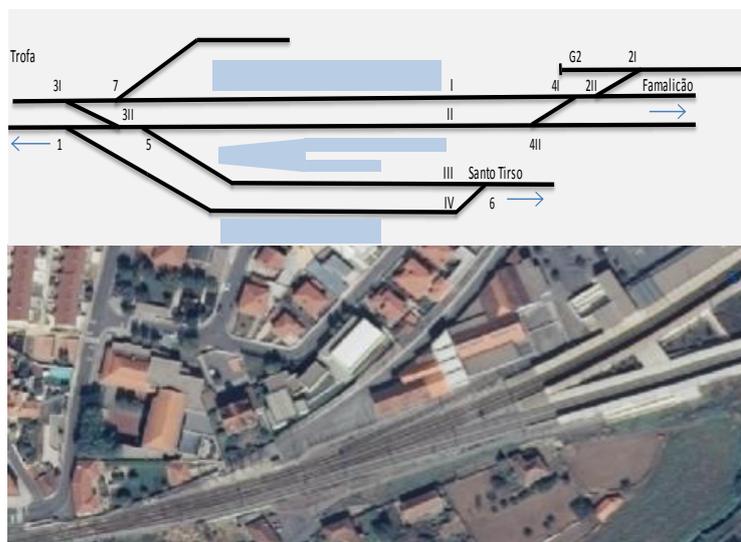


Figura 4.5 – Esquema unifilar das linhas da estação de Lousado

#### 4.5.3.2 Estação de Santo Tirso

A estação de Santo Tirso (Figura 4.6) é constituída por 3 linhas, 2 de circulação (I e II), com comprimentos úteis de 277 m e uma de topo (G2), com aproximadamente de 220 m (REFER@, 2011). Dos três AMV que integram a estação, o de entrada, AMV1, encontra-se inserido num alinhamento recto com um comprimento de cerca de 60 m, localizado entre duas curvas, nºs 11 e 12, com valores de raio 725 m e 300 m, respectivamente. O AMV4, de saída da estação, é convergente, inserido para o interior da curva de raio 1012 m. Nesta mesma curva encontra-se o AMV2, divergente, de acesso à linha de topo.

A estação desenvolve-se praticamente toda em curva, encontrando-se as plataformas de passageiros localizadas na zona do arco circular da curva com raio 585 m e parcialmente nas respectivas curvas de transições. A curva é dotada de uma escala de 30 mm. O seu perfil longitudinal na zona das plataformas apresenta uma inclinação de 4%.

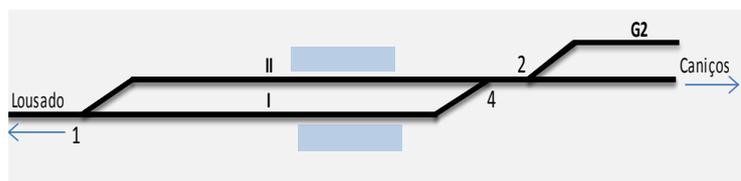


Figura 4.6 – Esquema unifilar das linhas da estação de Santo Tirso

#### 4.5.3.3 Estação de Caniços

A estação de Caniços (Figura 4.7) é constituída por 2 linhas de circulação (I e II) com comprimentos úteis de 215 m cada (REFER@, 2011). O traçado desenvolve-se na sua totalidade em curva, cujo valor do arco circular é de 600 m. As duas plataformas estão localizadas em toda a extensão do arco circular da curva e parcialmente nas curvas de transição. A escala máxima da curva é de 36 mm.

O AMV1 de entrada na estação encontra-se localizado num alinhamento recto entre as curvas 22 e 23, com aproximadamente 57 m de comprimento e o AMV2 de saída é divergente, encontrando-se implantado no arco circular da curva nº 24 de raio 480 m e escala 45 mm. Constata-se que os AMV estão localizados na proximidade dos elementos geométricos que pela sua natureza introduzem alterações do movimento do comboio. As distâncias entre estes elementos e a junta do talão da cróssima (JTC) do AMV1 e junta da contra lança (JCL) do AMV não vão além dos 50 m.

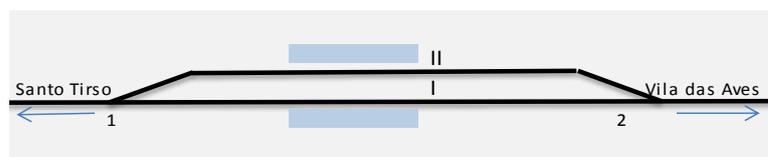


Figura 4.7 – Esquema unifilar das linhas da estação de Caniços

#### 4.5.3.4 Estação de Vila das Aves

A estação de Vila das Aves (Figura 4.8) é constituída por duas linhas de circulação (I e II) com comprimentos úteis de 221 m e 219 m (REFER@, 2011), respectivamente. O traçado na zona da estação desenvolve-se ao longo de uma curva e contracurva de raios 300 m e 1200 m, respectivamente. As mesmas são dotadas de escalas de 77 mm e 16 mm nos seus arcos circulares.

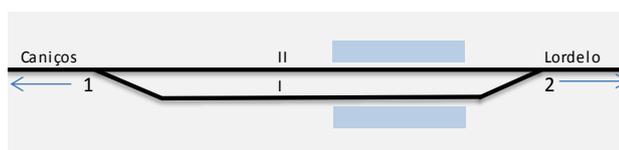


Figura 4.8 – Esquema unifilar das linhas da estação de Vila das Aves

Os aparelhos de mudança de via estão localizados nos alinhamentos rectos colaterais às curvas atrás citadas e as JTC encontram-se localizadas a distâncias reduzidas do início das

transições das curvas. As plataformas de passageiros estão localizadas parcialmente nos arcos circulares das duas curvas e nas transições de saída de uma e entrada de outra (Figura 4.9). A zona da estação apresenta inclinações da ordem dos 10‰ na zona da entrada e de 2,2‰ na zona da saída, localizando-se uma curva convexa de concordância vertical 6400 m, sobreposta com a curva de raio 300 m do traçado em planta. As plataformas encontram-se na zona de inclinação mais moderada.

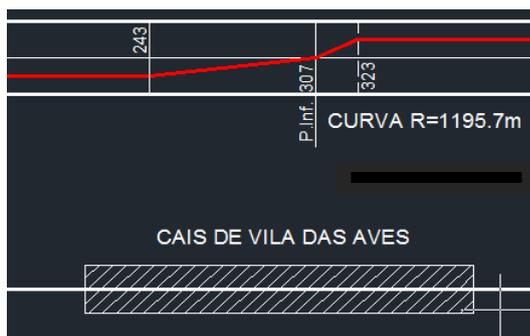


Figura 4.9 – Implantação da plataforma de passageiros na estação de Vila das Aves

#### 4.5.3.5 Estação de Lordelo

A estação desenvolve-se ao longo de uma curva de raio 600 m (linha I) e respectivas transições, dotada de uma escala de 54 mm. O AMV1 de entrada é divergente, encontrando-se implantado no arco circular da curva de raio 600 m. O AMV2 de saída encontra-se em alinhamento recto, porém a distância entre a JCL e o início da transição da curva seguinte apresenta um valor relativamente baixo, inferior a 50 m (Figura 4.10).

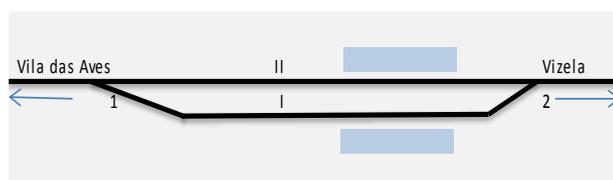


Figura 4.10 – Esquema unifilar das linhas da estação de Lordelo

O limite das plataformas de passageiros tem em conta a geometria do traçado, estando aquela distribuída parcialmente no arco circular da curva e parcialmente na sua transição (Figura 4.11). A zona da estação apresenta uma inclinação máxima da ordem dos 2‰. Destaca-se apenas a existência de um ponto de quebra de mudança de inclinação de 1,1‰ para 2,0‰.

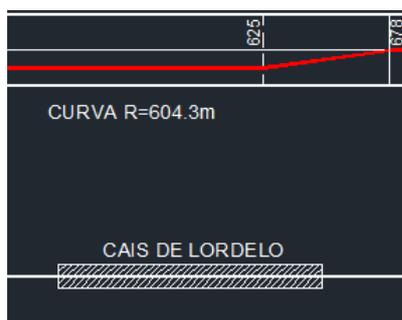


Figura 4.11 – Implantação da plataforma de passageiros na estação de Lordelo

#### 4.5.3.6 Estação de Vizela

A estação de Vizela é constituída por duas linhas (I e II) com comprimento útil de 156 m cada, e duas plataformas implantadas do lado exterior das vias (Figura 4.12).

O traçado na zona da estação inicia-se em curva (nº 50c) de raio 1600 m, na qual está implantado o AMV1 de entrada na estação, tendo como sequência um alinhamento recto, seguido de uma curva com raio 2500 m também com escala 0 mm, seguida de outro alinhamento recto, onde se localiza o AMV2 de saída.

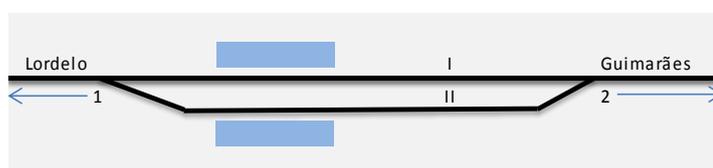


Figura 4.12 – Esquema unifilar das linhas da estação de Vizela

A localização do AMV de entrada na estação está fortemente condicionada pela geometria do traçado, pela ocupação urbana de um dos lados e por um arruamento do outro lado. Os condicionamentos existentes não permitiram deslocá-lo. Por isso, para conseguir a sua implantação o mais cedo possível possibilitando centrar a estação com o edifício de passageiros, houve que prever o seu encurvamento para o exterior da curva (CEX) no arco circular da curva de raio 1600 m, situação que favorece o itinerário do ramo desviado do AMV. O AMV de saída foi instalado em recta e a sua JCL localiza-se praticamente no início da curva de transição. O perfil longitudinal apresenta como inclinação máxima 9,6‰, já na zona de saída, encontrando-se o resto da extensão repartida pelas inclinações de 3‰ e de 0‰, ligadas por uma curva vertical côncava de raio 6400 m.

#### 4.5.3.7 Estação de Guimarães

A implantação do feixe de linhas encontra-se fortemente condicionada pela orografia do terreno e pela forte ocupação prevista na sua envolvente. Apesar destes constrangimentos as linhas I, II, III e IV, que constituem o feixe apresentam comprimentos de 292 m, 230 m, 205 m, e 205 m, respectivamente. Do conjunto de linhas faz ainda parte uma linha de topo (Figura 4.13) com um comprimento de 220 m para manobras de composições (REFER@, 2011).

Devido a condições de implantação, houve que encurvar os aparelhos de entrada na estação, para conseguir a sua colocação o mais cedo possível e permitir libertar a área no topo da estação. Trata-se de um aparelho convergente (CIN) com raio 900 m no ramo directo, o ramo desviado iniciará, então, com o raio de 225 m, dando continuidade à curva de entrada.

As três plataformas de passageiros apresentam um comprimento de 220 m e altura de 0,90 m, medidos em relação à mesa de rolamento dos carris. Os limites da plataforma de passageiros foram calculados tendo em conta o desenvolvimento do traçado.

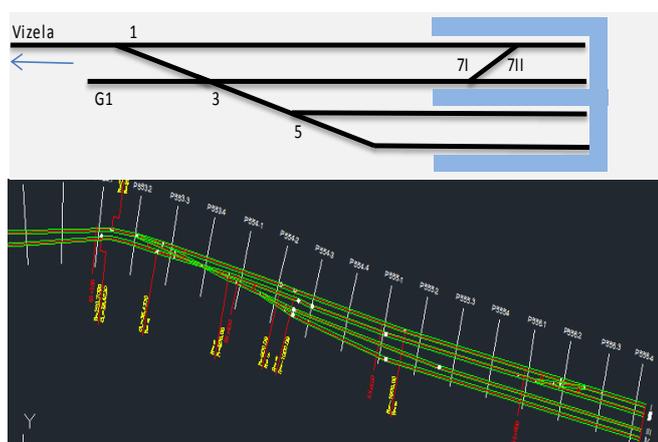


Figura 4.13 – Esquema de linhas da estação de Guimarães

#### 4.5.3.8 Apeadeiros

Os apeadeiros que integram este troço são todos dotados de uma plataforma com 150 m de comprimento e 0,90 m de altura, medidos em relação à mesa de rolamento dos carris. Todos eles são dotados de uma única plataforma à excepção do apeadeiro de Covas, no qual estão implantadas uma plataforma de cada lado da linha.

A plataforma de passageiros no apeadeiro de Giesteira está localizada do lado direito da linha, numa zona em que o traçado se desenvolve em recta. O perfil longitudinal apresenta uma curva de concordância vertical convexa de raio 14000 m em toda a extensão do apeadeiro.

Também no apeadeiro de Cuca, a plataforma se localiza do lado direito da via e desenvolve-se ao longo do arco circular de raio 270 m, dotada de uma escala 150 mm (Figura 4.14). O perfil longitudinal em toda a extensão da plataforma apresenta-se em rampa com aproximadamente 4‰ de inclinação.



Figura 4.14 – Implantação da plataforma de passageiros no apeadeiro de Cuca

O apeadeiro de Pereirinhas encontra-se localizado do lado direito da via, cujo traçado apresenta um declive de cerca de 14‰, em toda a extensão da zona de implantação da plataforma.

No apeadeiro de Nespereira a plataforma encontra-se localizada do lado direito da via. Nesta zona o traçado se desenvolve em curva e contracurva. É de referir que a parametrização actual não é a projectada, pois esta foi alterada devido a interferências entre a plataforma de passageiros e o material circulante, UME 3400 da CP-Porto.

Para a referida correcção foi efectuado um estudo de traçado no qual foram tomadas em consideração as características da infraestrutura e do material circulante. O estudo revelou a necessidade de efectuar ripagens e subida da rasante da via, concretizadas através de um ataque mecânico pesado. Houve ainda que compatibilizar o traçado da via com outras infraestruturas envolventes nomeadamente postes de catenária.

O perfil longitudinal apresenta uma pendente de aproximadamente 18‰ em toda a extensão do apeadeiro.

O apeadeiro de Covas é constituído por duas plataformas de passageiros, uma de cada lado da via. A zona do traçado onde se encontram implantadas as plataformas desenvolve-se em curva

e contra curva, dotadas de raios 196 m e escalas de 123 mm (Figura 4.15). O perfil longitudinal apresenta em toda a extensão da plataforma uma curva de concordância convexa de raio 35000 m.

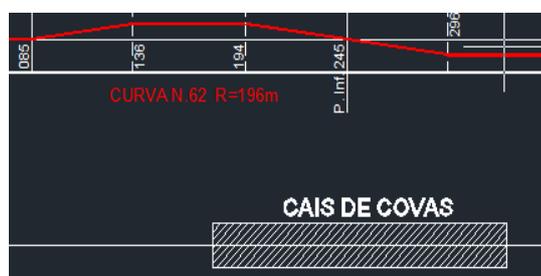


Figura 4.15 – Esquema de linhas do apeadeiro de Covas

#### 4.5.4 Superestrutura

A superestrutura da via é constituída por carril 54E1 aplicado com tombo 1/20, em barra longa soldada (bls) na maior parte da sua extensão. Os AMV são também equipados por carris 54E1, posicionados verticalmente relativamente à base, e com travessas de madeira. O balastro é normalizado e de um modo geral com uma espessura de 0,30 m. No que diz respeito às travessas aplicadas, existem diferenças que importa assinalar.

No troço Lousado - Santo Tirso as travessas instaladas são de betão monobloco equipadas com fixação Vossloh. Nos restantes troços foram aplicadas travessas de betão bi-bloco com fixação Nabla e residualmente PRX. Diferenciam-se, neste caso, apenas pelo facto de no troço Santo Tirso - Lordelo as travessas terem sido reaplicadas e no troço Lordelo – Guimarães terem sido aplicadas travessas novas.

De acordo com a REFER (1980), a bls é assente até curvas com o valor do raio até 300 m. Com efeito, o projecto previa que em todas as curvas com raios inferiores a 300 m a via fosse equipada com barras de 36 m comprimento, com juntas desquadradas, posicionadas sobre um par de travessas de madeira, com chapim duplo na fila de carril com junta.

Porém, ainda em fase de obra foi instalada barra longa soldada na zona da ponte de Caniços e viaduto de acesso, que se localiza imediatamente a seguir à estação com o mesmo nome. Esta zona, dotada de um raio de 265 m, está equipada com travessas de betão monobloco com fixações Vossloh e suporte de contra-carril, como se pode ver Figura 4.16. Foram instalados aparelhos carrilhões em ambas as extremidades do tabuleiro do viaduto dando continuidade ao contra-carril instalado ao longo do mesmo.

Outras zonas, equipadas com travessas bi-bloco e fixação Nabla e valor dos raios inferior a 300 m vieram a ser soldadas posteriormente, nomeadamente curvas com raios de 200 m, 250 m 270 m e 285 m. Todas as zonas onde a barra foi soldada têm sido objecto de um acompanhamento exigente no que se refere ao comportamento da via, mormente devido à formação de tensões exageradas nas barras.

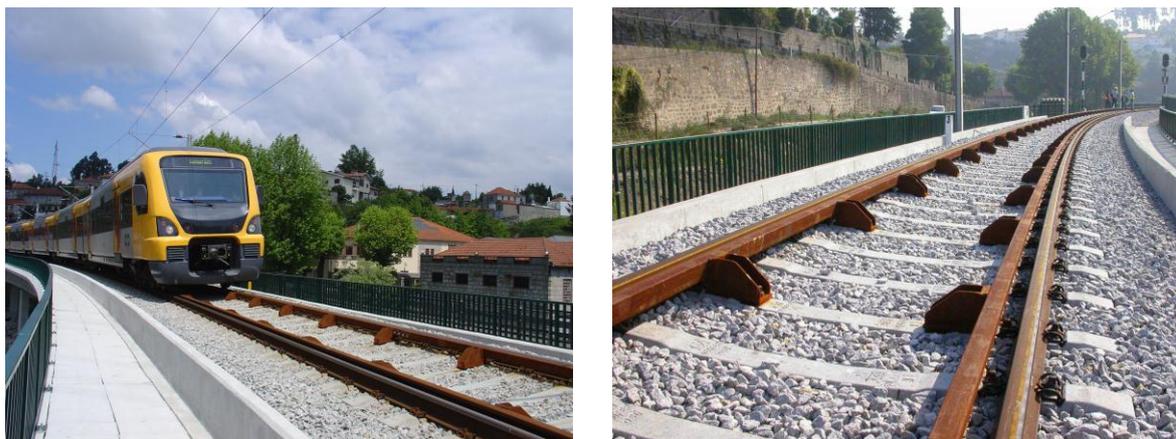


Figura 4.16 – Ponte de Caniços e viaduto de acesso: zona com barra longa soldada

#### 4.5.5 Lubrificadores fixos de via

Os lubrificadores fixos de via são equipamentos que tem como função depositar na face interna dos carris massa lubrificante que recolhida pelos verdugos das rodas é transportada ao longo de determinada extensão de carril. A necessidade de aplicação deste equipamento é função das características geométricas do traçado e necessariamente das características do tipo de composições que exploram a linha. Tal necessidade prende-se com a minimização dos desgastes dos carris e das rodas, inerente ao seu contacto, que é preciso acautelar.

A aplicação de lubrificadores fixos de via, em conjunto com os sistemas de lubrificadores de verdugos embarcados no material circulante, constitui-se como uma medida de minimização de desgaste inerente ao contacto roda/carril. Não sendo possível evitar a ocorrência de desgastes, estes podem ser muito reduzidos mediante uma eficaz lubrificação do sistema roda carril.

As composições que fazem o serviço na Linha de Guimarães estão equipadas com um sistema de lubrificação de verdugos, o que complementa o sistema de lubrificadores de via. Na Linha de Guimarães estão instalados dezassete lubrificadores fixos de via, localizados na fila

esquerda ou direita, que corresponde à fila alta da curva. A localização dos lubrificadores permite que todas as curvas dotadas de raios inferiores a 400m sejam lubrificadas.

O número de lubrificadores fixos de via instalados evidencia as características de uma linha bastante sinuosa que, no subtroço Lousado - Santo Tirso está equipada com 2 lubrificadores fixo de via, no subtroço Santo Tirso - Lordelo 8 e, por último, no subtroço Lordelo Guimarães 7, conforme apresentado no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Localização dos lubrificadores fixos de via

Lubrificadores Fixos de via		PK
Subtroço Lousado - Santo Tirso	Fila Esquerda	26,150
	Fila Direita	27,050
Subtroço Santo Tirso - Lordelo	Fila Direita	30,780
	Fila Direita	32,472
	Fila Direita	32,845
	Fila Esquerda	34,460
	Fila Direita	35,580
	Fila Direita	37,633
	Fila Esquerda	40,180
Subtroço Santo Tirso - Lordelo	Fila Direita	41,040
	Fila Direita	42,970
	Fila Esquerda	44,380
	Fila Direita	44,970
	Fila Direita	46,800
	Fila Direita	52,605
	Fila Esquerda	53,090
Fila Esquerda	53,706	

#### 4.5.6 Sobrelarguras

O acréscimo ao valor nominal da bitola, designado de sobrelargura, é aplicado nas curvas de raios reduzidos com a finalidade de facilitar o percurso efectuado pelo perfil cónico das rodas, impedindo ou atenuando o escorregamento da roda externa no carril devido ao maior desenvolvimento da fila exterior e, por conseguinte, diminuir a resistência ao avanço e o desgaste nas curvas e, por outro lado, facilitar a inscrição dos veículos.

O acréscimo do valor da bitola é atribuído mediante a gama dos valores dos raios e varia consoante o tipo de travessa aplicada. Para o caso das travessas de betão bi-bloco as sobrelarguras aplicadas apresentam o valor de 5 mm e de 10 mm, para a gama de raios de  $250 \leq R < 300$  (m) e  $200 \leq R < 250$  (m), respectivamente. Para curvas com valores dos raios iguais a 300 m ou superiores não estão aplicadas sobrelarguras e para o caso do valor dos raios inferiores a 200 m foi aplicada a sobrelargura de 10 mm.

A aplicação de sobrelarguras obedece a um conjunto de regras próprias prescritas na REFER (2008). No troço de via objecto de análise, todas as curvas com raios inferiores a 300 m foram dotadas de sobrelarguras conforme o expresso no Quadro 4.4.

No troço Lousado - Santo Tirso verificou-se não haver lugar à aplicação de sobrelarguras, pois o valor do raio mínimo materializado é de 400 m, dispensando, por isso, de acordo com o prescrito no normativo, a sua aplicação. Nos troços Santo Tirso - Lordelo e Lordelo-Guimarães foram aplicadas sobrelarguras em 5 e 7 curvas, respectivamente.

Quadro 4.4 - Valores dos raios e das sobrelarguras

Subtroços	Nº da Curva	Valor do raio (m)	Bitola máxima (mm)	Valor da Sobrelargura (mm)
Santo Tirso - Lordelo	15	220	1678	10
	17a	270	1673	5
	24a	265	1673	5
	36b	270	1673	5
	37	285	1673	5
Lordelo - Guimarães	45	270	1673	5
	50	250	1673	5
	50b	200	1678	10
	62	196	1678	10
	63	196	1678	10
	64	196	1678	10
	65	200	1678	10

Os valores dos desvios da bitola registados pelo veículo de inspecção EM120 têm reflectidos os valores das sobrelarguras aplicadas, pelo que terão de ser tidos em conta, quer na avaliação das tolerâncias da bitola, quer na dos desgastes dos carris.

Os valores das tolerâncias são os prescritos na “IT.VIA.018.02: Tolerâncias dos parâmetros geométricos da via”, que para o caso em análise serão considerados os valores estabelecidos

para a classe IV que correspondem a uma velocidade compreendida entre 80 e 120 km/h para tolerâncias de alerta do parâmetro bitola, compreendidas entre -7 e +25 mm.

#### 4.5.7 Perfil transversal tipo

Os condicionamentos físicos ao longo do desenvolvimento do traçado exigiram a adoção de dois perfis transversais tipo, um perfil transversal tipo corrente (Figura 4.17) de aplicação geral e um perfil transversal tipo reduzido (Figura 4.18). Este foi aplicado em zonas de fortes constrangimentos, nomeadamente com significativa ocupação habitacional ou em situações em que o alargamento da plataforma exigiria o recurso a obras vultosas e de difícil execução.

O perfil transversal tipo corrente apresenta os postes de catenária colocados genericamente do lado esquerdo da via, a uma distância variável de 2,00 m a 2,20 m, medidos a partir da face exterior do carril mais próximo e, postes de sinalização, embora não representados, a 2,25 m da face interior do carril mais próximo. As caleiras de sinalização distam de 3,0 m da face interior do carril.

A largura da plataforma de via, que corresponde, neste caso, ao limite superior da camada de sub-balastro, exhibe um valor de 8,100 m, sendo 4,05 m para cada lado do eixo da via. A espessura de balastro na prumada de carril corresponde a 0,30 m e a sobreelevação da banquetta de balastro apresenta um valor de 0,10 m, quer em recta, quer em curva. A camada de sub-balastro apresenta uma espessura de 0,20 m.

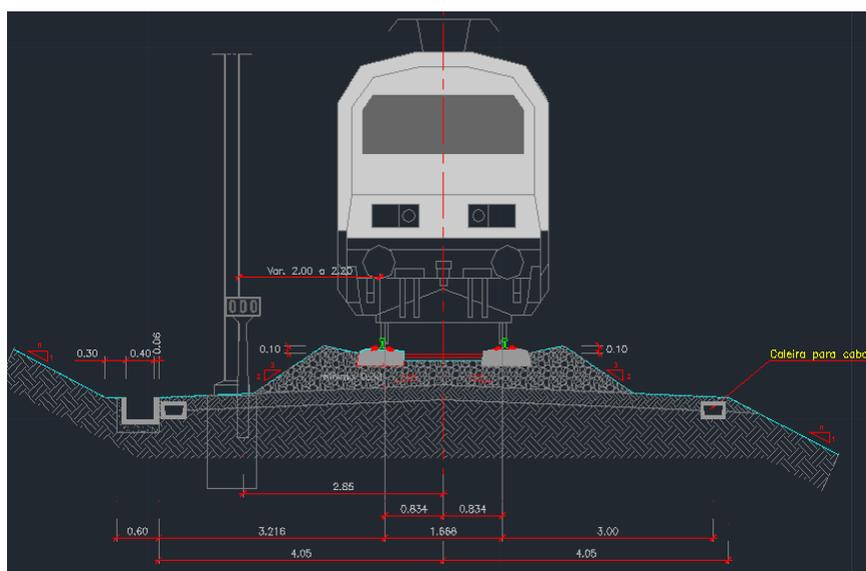


Figura 4.17 – Perfil Transversal Tipo corrente

O perfil transversal tipo reduzido apresenta como principais diferenças relativamente ao perfil transversal corrente a distância entre os postes de catenária e a face exterior do carril, que neste caso é de 1,80 m e o limite da plataforma de 3,50 m, medido em relação ao eixo da via.

É de salientar que em algumas situações foi necessário reduzir, apenas de um dos lados, figurando o perfil com distâncias assimétricas em relação ao eixo da via, de 3,05 m ou de 4,05 m. Pode ainda verificar-se em algumas situações as distâncias de 4,000 m e 4,100 m, em relação ao eixo da via. A vedação está implantada, neste caso, na plataforma da via.

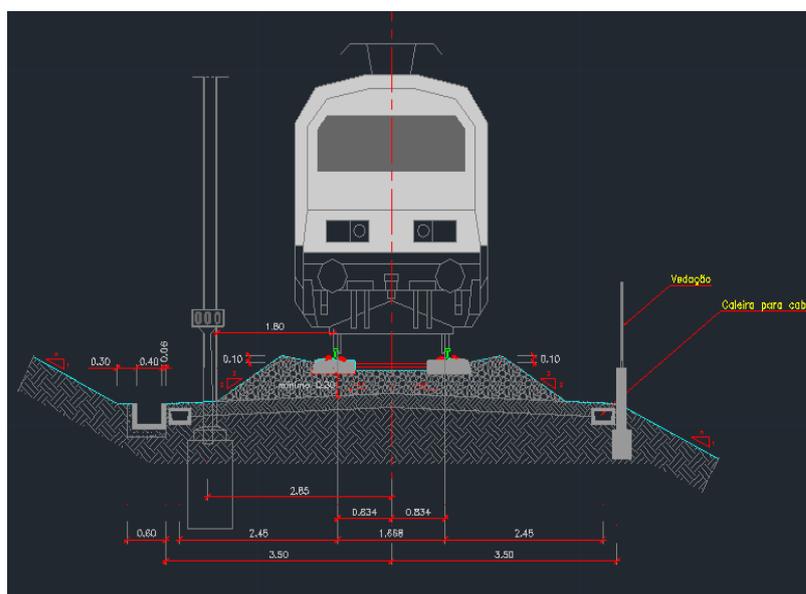


Figura 4.18 – Perfil Transversal Tipo reduzido

No Quadro 4.5 comparam-se os valores adoptados para o perfil transversal corrente e reduzido GAPRES (2001), com os valores dos perfis transversais tipo de via larga única electrificada REFER (2004) e de via métrica REFER (2009c).

Quadro 4.5 - Características principais dos perfis transversais tipo

	PTT Via larga	PTT Via estreita (métrica)	PTT Corrente	PTT Reduzido
Largura da plataforma (m)	9,20	7,80	8,100	7,00
Distância dos postes de catenária à face interior do carril (m)	2,47	-	2,00-2,00	1,800
Distância dos postes de sinalização (m)	2,25	1,560-1,900	2,00	1,800
Sobreelevação da banquetta de balastro (m)	0,10	0,10	0,10	0,10
Distância da face interior do carril à crista do talude de balastro (m)	1,00	0,80	0,90	0,90
Altura de balastro sob a travessa (m)	Min. 0,25 Max. 0,50	Min.0,25	0,30	0,30

Como se pode verificar, as diferenças entre o perfil transversal tipo adoptado e os perfis transversais tipo de plena via, para via larga em linhas novas ou renovadas, e para via estreita (métrica), é sobretudo na largura da plataforma, trazendo consigo a redução das distâncias, dos restantes elementos que aí são instalados, postes de catenária, sinalização, canaletes para os cabos de sinalização e telecomunicações.

A distância de 0,90 m da face interior do carril à crista do talude de balastro, no caso do perfil tipo adoptado, é inferior à distância estabelecida no perfil de via larga (1,00 m). Esta distância é relevante porquanto tem o seu contributo na resistência oferecida pela via aos esforços transversais.

#### 4.5.8 Diagrama de velocidades

Na Figura 4.19 é apresentado o diagrama de velocidades da via ascendente do troço analisado, no qual se verifica a existência de vários patamares de velocidades, sendo a máxima de 100 km/h e a mínima de 30 km/h. A irregularidade nos patamares de velocidade reflecte a irregularidade dos elementos geométricos de que é composto o traçado neste troço de linha.

As zonas de velocidade mais baixa nem sempre são coincidentes com as zonas de estações e apeadeiros, pois existem outras zonas do traçado que pelas suas características,

nomeadamente raios com valor reduzido, restringem a velocidade, tornando o troço não homogéneo.

A extensão do troço, que permite a velocidade máxima de 100 km/h, corresponde a 18% do total, nomeadamente, do PK 38,155 a 39,720 (1565m), PK 48,300 a 50,775 (2475m) e PK 51,240 a 52,530 (1290).

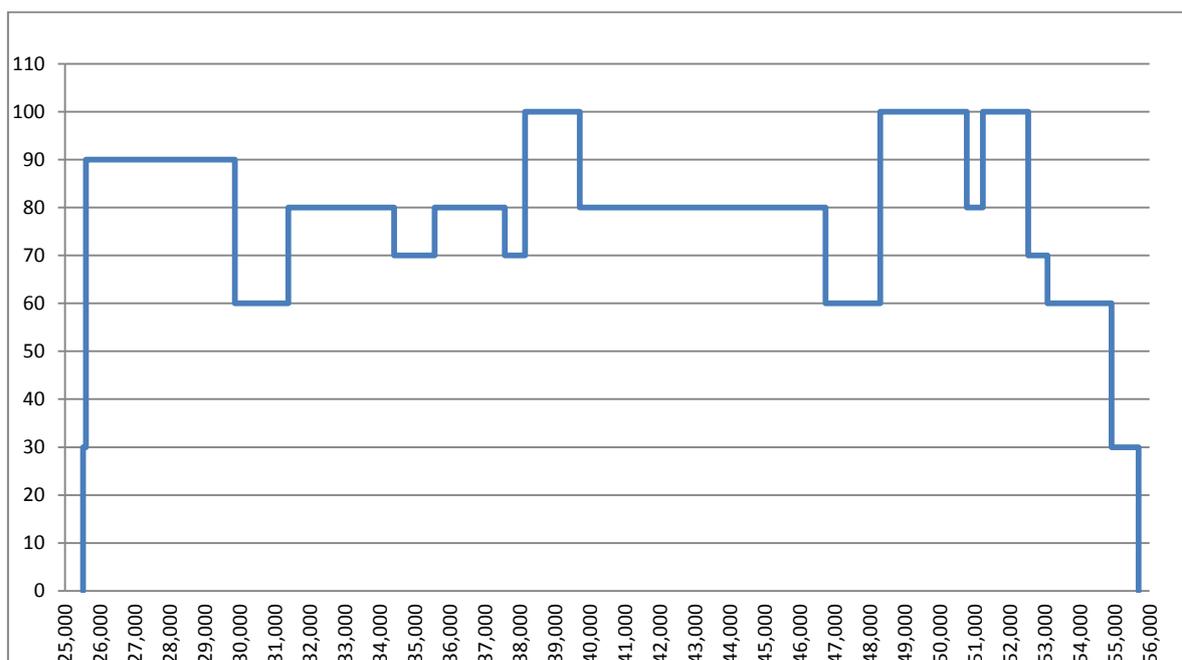


Figura 4.19 – Diagrama de velocidades da via ascendente

O diagrama de velocidade da via descendente é similar ao da via ascendente, pelo que se dispensou a sua apresentação.

#### 4.6 Análise e diagnóstico da linha

Com base na caracterização da linha traduzida na informação expressa no projecto de execução, telas finais, dados recolhidos, in loco, por inspecção visual e os registos da geometria da via, obtidos através das medições efectuadas pelo veículo de inspecção de via EM120, estabelecem-se algumas relações que possam evidenciar as consequências que resultaram da mudança de uma bitola de via estreita (métrica) para uma de via larga (1668 mm).

O traçado percorrido determina os movimentos de um veículo na via que, por sua vez, é responsável pelas forças que se desenvolvem no contacto roda carril. Assim, partindo da

caracterização do traçado e do conhecimento dos dispositivos instalados, que se julgam contribuir para o aumento da eficiência do sistema, como é o caso da aplicação dos lubrificadores fixos de via e das sobrelarguras, recorreu-se ao tratamento dos dados referentes à geometria da via para avaliar alguns aspectos conceptuais do traçado, nomeadamente as características dos elementos geométricos e a sua estrutura sequencial, alinhamentos rectos, curvas e respectivas extensões. Para o efeito, foi verificada a predominância de desvios dos parâmetros da geometria da via por comparação com a geometria projectada.

Os parâmetros registados que permitem caracterizar a geometria de uma via ferroviária, bem como aferir a sua qualidade, são:

- Bitola da via, que determina a distância existente entre faces interiores da cabeça dos carris, medida em esquadria com estes e a 15 mm abaixo do plano de rolamento;
- Alinhamento que, para cada um dos carris, representa a distância em planta em relação ao alinhamento teórico;
- Nivelamento transversal entre os carris (escala) que, representa a diferença em altura da mesa de rolamento de cada carril obtida pelo ângulo entre o plano de rolamento e o plano horizontal de referência;
- Nivelamento longitudinal que, define as variações da cota da superfície de rolamento de cada fila de carril, em relação a um plano de comparação;
- Empeno (na base de 3 m) que, representa a distância existente entre um ponto da via e o plano formado por outros três pontos.

A presença de defeitos em qualquer destes parâmetros prejudica o conforto e a segurança da circulação dos veículos ferroviários, uma vez que afectam os seus movimentos. Os defeitos de nivelamento longitudinal afectam o movimento de galope enquanto os defeitos de nivelamento transversal afectam o movimento de balanceio dos veículos. As irregularidades existentes na bitola da via e de alinhamento incidem no movimento de lacete, aumentando as acelerações laterais. Por sua vez, os defeitos de empeno podem originar o descarrilamento dos veículos ferroviários.

A norma REFER (2009a) define as tolerâncias dos desvios verificados em relação aos valores de referência dos parâmetros geométricos da via para linhas de bitolas 1668 mm, 1453 mm e 1000 mm, para as situações de recepção de trabalhos e decisão sobre as acções de manutenção. A avaliação da qualidade da via, no que concerne à decisão sobre as acções da manutenção é efectuada através da consideração de tolerâncias de alerta, intervenção e acção imediata. No caso em análise, os registos dos desvios foram confrontados com as tolerâncias de alerta, que correspondem ao valor do parâmetro que, quando atingido, originará a inclusão

do troço na programação de trabalhos de manutenção. Isto porque o enfoque deste trabalho reside sobretudo em identificar zonas do traçado que revelem padrões de comportamento resultantes da concepção do traçado. Foram analisados os registos dos parâmetros referentes às campanhas de inspecção de 2006, 2008, 2009, 2010, e 2011. O tratamento de dados foi efectuado km a km, com medições de 0,25 m em 0,25 m, e não de forma contínua, por forma a minimizar a acumulação de erros, uma vez que os dados são obtidos por um sistema de medição com referencial de posicionamento relativo, o que conduz a que um local referenciado onde se efectuam sucessivas medições possa corresponder, na realidade, a locais distintos.

É indubitável que, para localizar em cada momento a posição exacta dos carris de uma via, o recurso a uma “base absoluta” de referência proporcionaria os defeitos de cada parâmetro com a precisão que os equipamentos de medida o permitissem.

Dado que no âmbito deste trabalho se pretendem identificar padrões de comportamento da via, não foi aplicado nenhum modelo que permitisse ajustar os valores dos parâmetros registados, ao mesmo referencial. Sobrepueram-se, em cada km de via, os registos das medições de cada parâmetro (bitola, nivelamento longitudinal e transversal, alinhamento e empeno), com o diagrama de curvatura do traçado projectado. O desfasamento nos desvios dos parâmetros para a análise que se pretende efectuar é desprezável.

Na Figura 4.20 apresenta-se, a título de exemplo, a sobreposição dos registos de medição do parâmetro bitola, para as campanhas referidas, análise que se efectuou também para os restantes parâmetros.

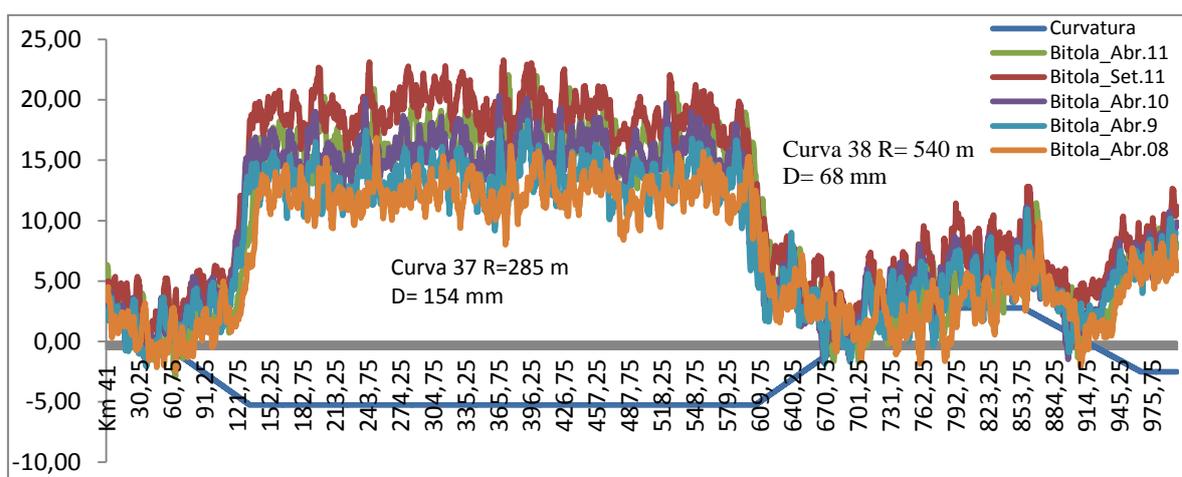


Figura 4.20 – Troço Lordelo - Guimarães: registo dos desvios da bitola das campanhas de 2008, 2009, 2010 e 2011.

Dado que o padrão dos desvios se repete, a menos das alterações inerentes à utilização da linha como o desgaste dos carris e assentamento da camada de balastro, os exemplos que serão apresentados reportam-se apenas à campanha de 2011 (Set.11 ou Abr.11).

A preocupação do ponto de vista económico sobre o elevado custo que decorre das acções de manutenção é importante, nomeadamente a substituição dos carris determinando o limite até onde podem ser utilizados sem comprometer a segurança. Não menos importante é garantir que o traçado é desenhado e materializado eliminando ou, não sendo possível, minorando ao máximo, situações que dão origem a defeitos da geometria da via de forma sistemática, provocando não só deformações prematuras na via, mas também a necessidade de, recorrentemente, serem intervencionadas essas zonas.

#### **4.6.1 Traçado em planta e perfil longitudinal**

Para obter uma velocidade regular num troço de linha é necessário estabelecer um traçado no qual as características sejam homogéneas. As frequentes alterações de traçado (alinhamentos, curvas de transição e circulares, assim como elementos geométricos de curta extensão) influenciam negativamente a marcha dos veículos, o conforto dos passageiros, bem como a manutenção da via.

Para as vias percorridas a baixa velocidade, como é o caso, a inscrição dos veículos em curva, a resistência ao avanço conferida pela inclinação do traineis e a estabilidade em curva, são factores que contribuem também para ditar os níveis de manutenção.

O projecto das características geométricas de uma curva baseia-se fundamentalmente na verificação de determinado limite para os parâmetros estabelecidos em documentos normativos, que, em princípio, asseguram as condições de conforto e fornecem indicações quanto à segurança, já que os esforços sobre a via são também eles proporcionais à aceleração lateral não compensada. Na realidade, quando se projecta, apesar do respeito pelo normativo e regras de projecto, convivemos com uma situação mais ou menos ideal. Ora, na situação real deparamos com uma conjugação de efeitos que não é possível avaliar em projecto, face à quantidade de variáveis a considerar na interacção entre o veículo e a via, a maior parte delas aleatórias.

Os defeitos de via são a causa dos maiores esforços sobre a via e dos mais intensos movimentos parasitários do material circulante, e aumentam, por isso, a probabilidade de novos e mais acentuados defeitos, que podem determinar a instabilidade da via.

A estabilidade da geometria da via pode ser avaliada através dos desvios entre os valores projectados e os registos efectuados em cada ponto. Tenta-se aqui correlacionar alguns valores de projecto com os valores medidos, tendo como referência as tolerâncias admissíveis nos documentos normativos em vigor, tentando identificar pontos críticos do traçado que terão obrigatoriamente cuidados especiais de manutenção.

Existe normativo que regulamenta as extensões mínimas a respeitar para cada elemento geométrico. No entanto, face às características de cada traçado e do material circulante, as extensões projectadas poder-se-ão mostrar insuficientes.

Nos subcapítulos 4.5.1, 4.5.2 e 4.5.3 referem-se as características do traçado da Linha de Guimarães, maioritariamente constituído por uma sequência de arcos de diferentes raios com curvatura no mesmo sentido e raios com curvatura de sentido oposto, ligados por pontos de inflexão. A perturbação iniciada na entrada ou saída de uma transição não é amortecida imediatamente, de tal modo que os efeitos são susceptíveis de se sobreporem se o desenvolvimento dos elementos geométricos não é suficiente para estabilizar o movimento do veículo.

As constatações que a seguir se descrevem resultaram do tratamento de um conjunto de dados que não é possível apresentar na sua totalidade, pelo que se opta pela apresentação de alguns exemplos, como forma de corroborar as análises e hipóteses formuladas. A maior parte das evidências apresentadas reportam-se ao parâmetro bitola. No entanto, os restantes parâmetros acompanham a tendência dos desvios, em menor ou maior grau, mediante as características geométricas dos elementos existentes colateralmente.

No caso dos segmentos constituídos por alinhamentos rectos, quanto menor é a sua extensão maior é a perturbação verificada nos desvios dos parâmetros. Tomemos como exemplo o alinhamento recto compreendido entre o fim da transição da curva nº 8 e início da transição da curva nº 9, com 37 m de extensão (Figura 4.21). Quando comparamos os desvios de bitola para as mesmas condições (velocidade, armamento da via e veículos) deste segmento com um de 83 m, localizado entre as curvas nºs 7 e 8 representadas na mesma figura, verifica-se que a amplitude dos desvios e a dispersão dos mesmos é diferenciada.

Complementa-se a análise com a apresentação dos histogramas (Figuras 4.22 e 4.23) referentes aos dois casos referidos, respectivamente. Nestes pode constatar-se a frequência e a amplitude dos desvios de bitola para as duas situações. No caso do alinhamento recto com 37 m de extensão (Figura 4.22) verifica-se que a maior frequência surge para o desvio do valor da bitola de 3 mm em 15 elementos, com uma percentagem acumulada de 44,59%. O desvio

de 5 mm corresponde a 65,61% da percentagem acumulada. Neste caso, há ainda a notar uma dispersão dos valores dos desvios de 1,2 mm a 9 mm.

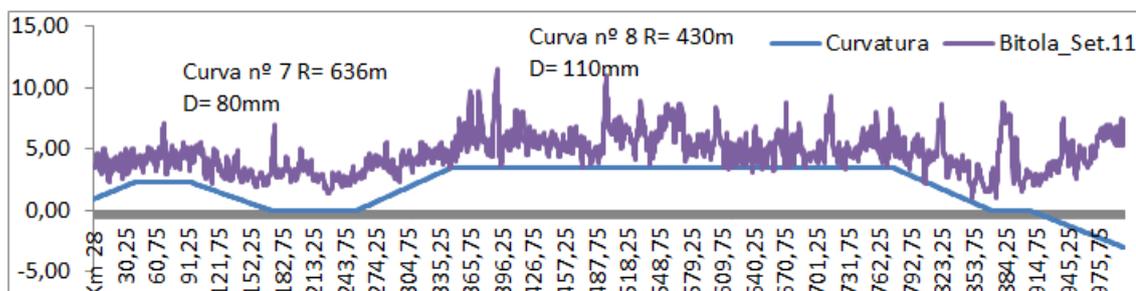


Figura 4.21 – Subtroço Lousado - Santo Tirso: desvio da bitola em alinhamentos rectos

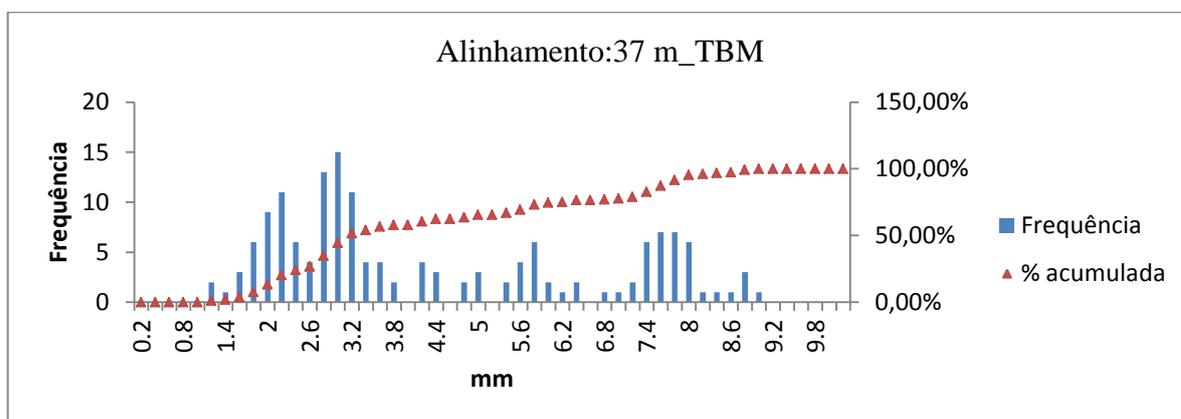


Figura 4.22 -Subtroço Lousado - Santo Tirso: desvios da bitola em alinhamento recto de 37 m

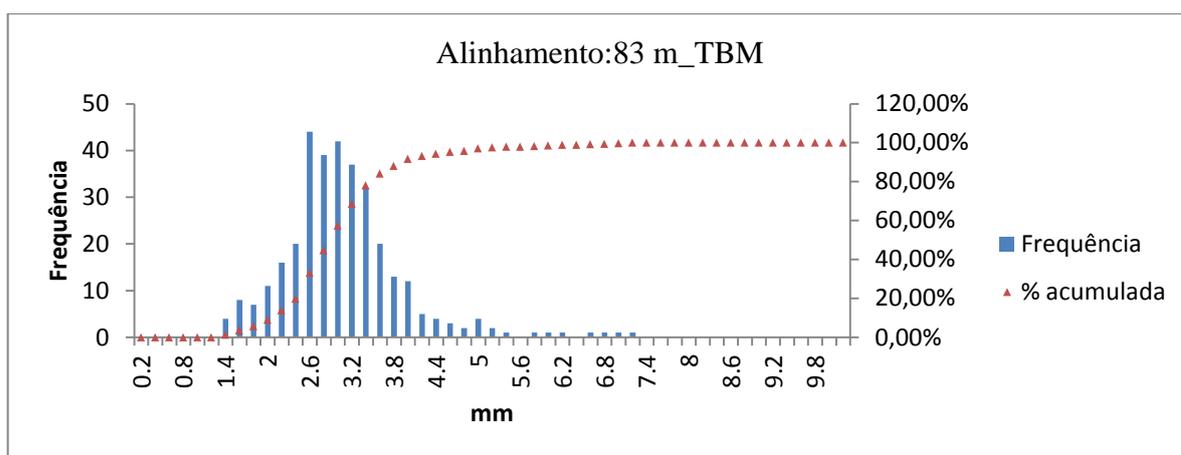


Figura 4.23 -Subtroço Lousado - Santo Tirso: desvios da bitola em alinhamento recto de 83 m

Para comparação considera-se um alinhamento com 83 m de comprimento (Figura 4.23). Pode verificar-se que a maior frequência (44 elementos) surge para o desvio do valor de bitola

de 2,6 mm, com uma percentagem acumulada de 33,03%. O desvio de 5 mm corresponde a uma percentagem acumulada de 97,00%.

Este exemplo representa, de um modo geral, a tendência do comportamento da via com maior ou menor impacto face às características das curvas de transição adjacentes.

No caso de alinhamentos rectos foi também efectuada a comparação dos desvios verificados em troços de extensão similar, diferenciados pelo tipo de travessas que os equipam, de betão monobloco ou bi-bloco.

Os exemplos apresentados para o parâmetro bitola (Figuras 4.24 e 4.25) evidenciam o que na generalidade se verifica, ou seja, os desvios de bitola nos troços equipados com travessas bi-bloco apresentam desvios de bitola superiores aos dos troços equipados com travessas de betão monobloco. No troço com travessas de betão monobloco verifica-se que a maior frequência (65 elementos) surge para o desvio do valor de bitola de 2,6 mm, com uma percentagem acumulada de 46,76%. O desvio de 4,4 mm corresponde a uma percentagem acumulada de 96,88%.

No caso do troço equipado com travessas bi-bloco, verifica-se que a maior frequência (61 elementos) surge para o desvio do valor de bitola de 3,6 mm, com uma percentagem acumulada de 33,52%. O desvio de 4,4 mm corresponde a uma percentagem acumulada de apenas 54,61%.

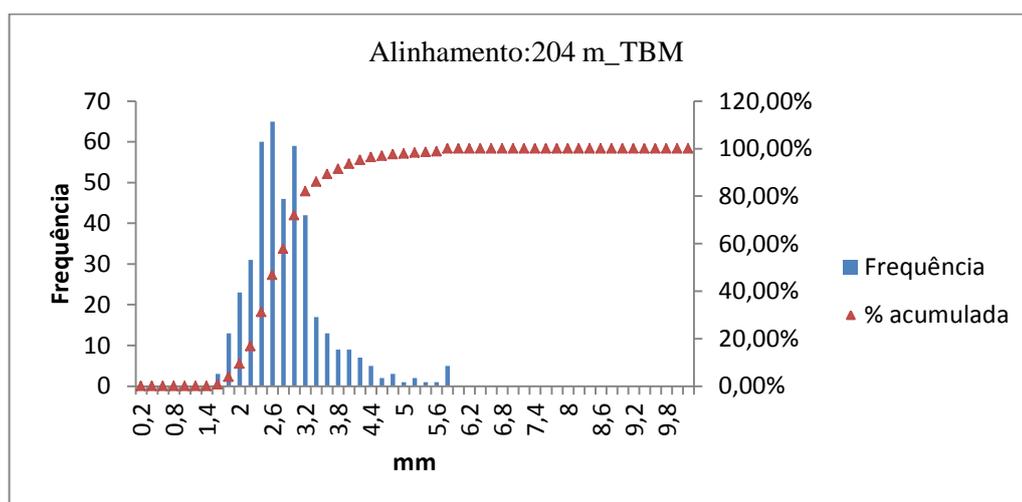


Figura 4.24 – Subtroço Lousado - Santo Tirso: desvios da bitola

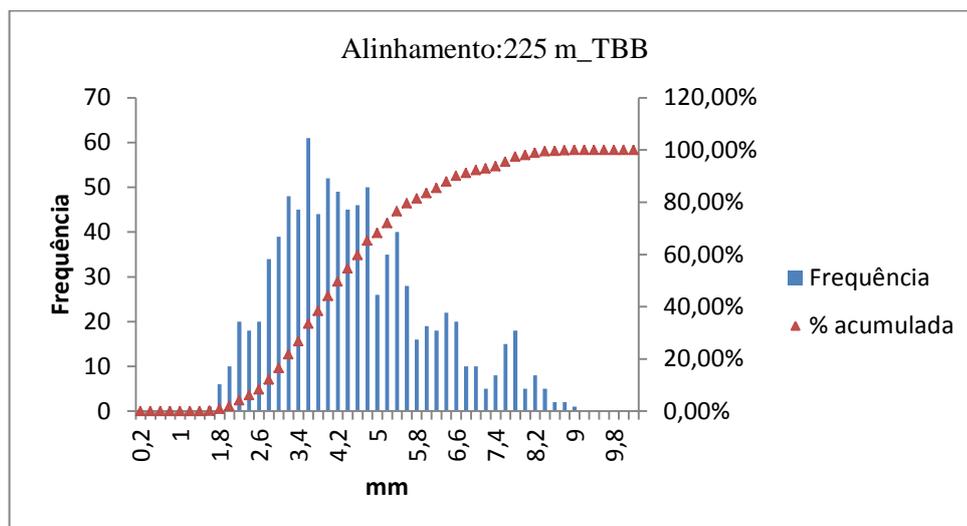


Figura 4.25 – Subtroço Santo Tirso - Lordelo: desvios da bitola

Quando os AMV são instalados em alinhamentos rectos ou em arcos circulares com uma extensão que não permita a estabilização do veículo, verifica-se um aumento da amplitude dos defeitos nos elementos geométricos colaterais. O mesmo se passa quando pontos notáveis do AMV (JTC e JCL) estão localizados na proximidade de início ou fim das curvas de transição. Estas situações ocorrem devido à necessidade de ampliação das estações, conjugada com as condições orográficas e territoriais onde a linha se insere e determinam as zonas dos AMV como pontos críticos do traçado.

Apresenta-se como exemplo o registo das amplitudes dos defeitos correspondentes à bitola na zona de inserção de um AMV numa curva de raio 480m (Figura 4.26, curva 23).

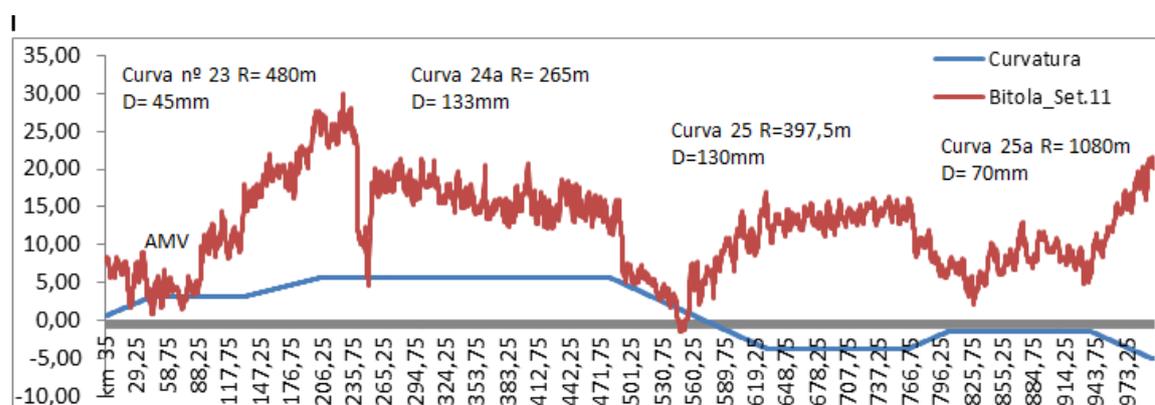


Figura 4.26 – Subtroço AMV instalado em curva de raio 480 m: desvio do valor da bitola

Por si só, as zonas dos AMV, devido à descontinuidade geométrica, rigidez e à maior dificuldade na conservação do nivelamento, são geralmente responsáveis por distorções do

alinhamento da via que se estendem a montante e jusante dos pontos de inserção. Os efeitos gerados pelas condições de inserção (elementos adjacentes) dos AMV poderão incrementar a instabilidade inerente à passagem das circulações neste equipamento.

Foram apresentados exemplos do padrão de comportamento da via (desvios da bitola) para o caso de alinhamentos rectos de curta extensão. O mesmo se pode afirmar quanto ao comportamento nos arcos circulares das curvas, cuja amplitude dos desvios aumenta, quando comparada com arcos com desenvolvimento que permitam a estabilização do veículo.

O projecto deve garantir nos troços circulares, no mínimo, três flechas sucessivas de igual valor, acrescido do espaço necessário para o “adoçamento” dos vértices, sob pena de uma redução drástica dos pontos de flecha constante. Este valor poderá ser insuficiente face às características do material circulante que faz a exploração da linha, pelo que terá adaptado a cada caso.

A extensão de um alinhamento recto entre duas curvas sucessivas, do mesmo sentido ou sentido contrário, deve apresentar no mínimo três flechas sucessivas nulas. Deve garantir, também, o espaço suficiente para o “adoçamento” dos vértices.

Este elimina sobretudo, nas curvas de raio reduzido, o aparecimento de defeitos devido à descontinuidade dos elementos. Do mesmo modo as distâncias a considerar em projecto devem ser ajustadas tendo presente o material circulante e as características dos elementos colaterais, que oferecerão uma dinâmica própria.

Ao menor comprimento dos elementos geométricos constituintes de um traçado está associada uma maior manutenção da via, pela dificuldade de os manter com as características geométricas projectadas.

Nos troços de curta extensão e elevada curvatura torna-se, também, difícil manter o nivelamento transversal projectado. No caso do arco circular da curva nº 20 (Figura 4.27) com uma extensão de 70 m, os pontos de flecha e escala constantes são reduzidos, e assim alterada a sua geometria relativamente à projectada. Existem casos em que a escala apresenta apenas um ponto com escala igual à projectada.

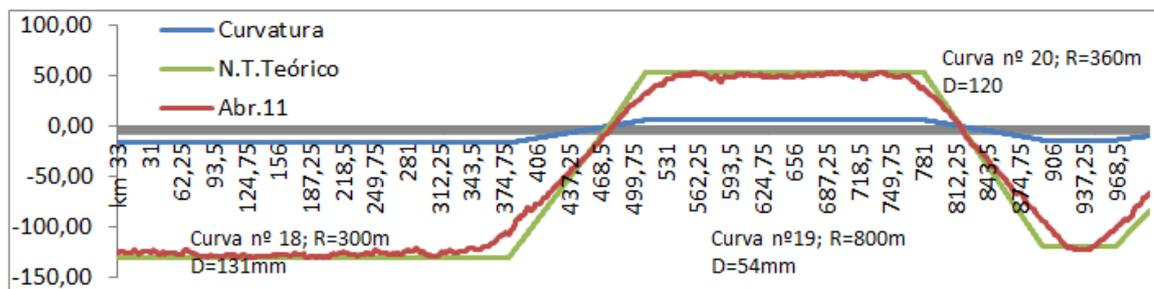


Figura 4.27 – Troço Santo Tirso - Lordelo: diagrama de escalas num arco circular de curta extensão

As curvas de sentido contrário com ponto de inflexão devem ser ligadas com uma só transição dotada de uma variação de flecha e escala constante. Quando tal não se verifica dá origem a alterações da geometria da via, conducentes à formação sistemática de desvios. Na Figura 4.28 evidencia-se o caso que corresponde à curva de transição de saída da curva nº 20 e à de entrada da curva nº 21, ligadas por um ponto de inflexão.

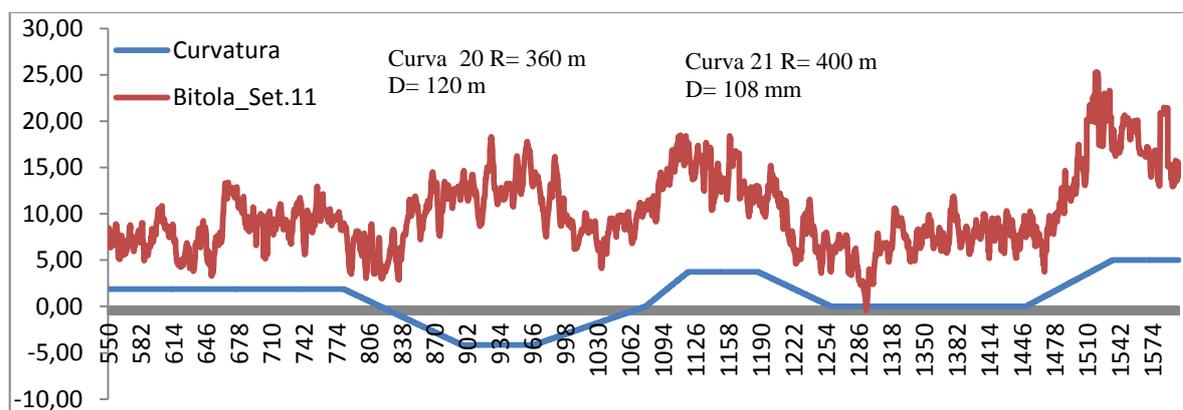


Figura 4.28 – Troço Santo - Tirso Lordelo: desvios da bitola. Ponto de inflexão

Evidencia-se através dos histogramas apresentados nas Figuras 4.29 e 4.30, correspondentes aos desvios verificados nas transições de saída (CT2) da curva nº 20 e de entrada (CT1) da curva nº 21, que a amplitude dos defeitos na CT2 é mais acentuada e dispersa, também devido à diferença de comprimento dos dois elementos.

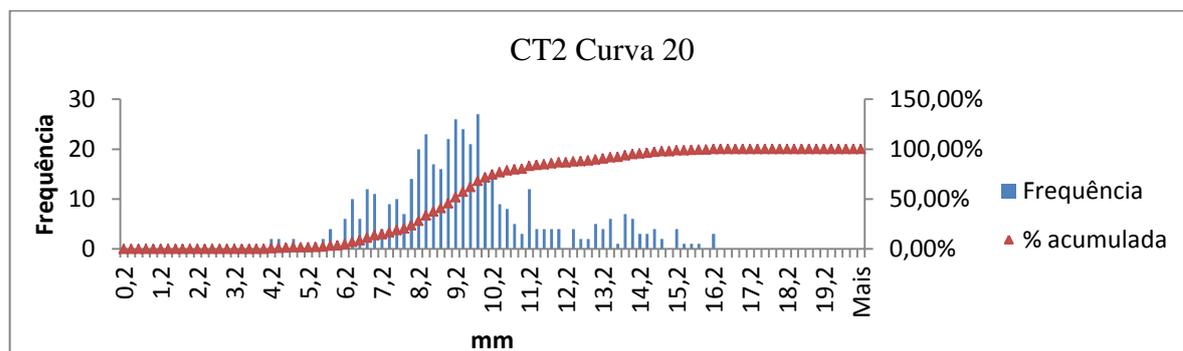


Figura 4.29 – Troço Santo - Tirso Lordelo: defeitos de bitola na CT1 da curva 20

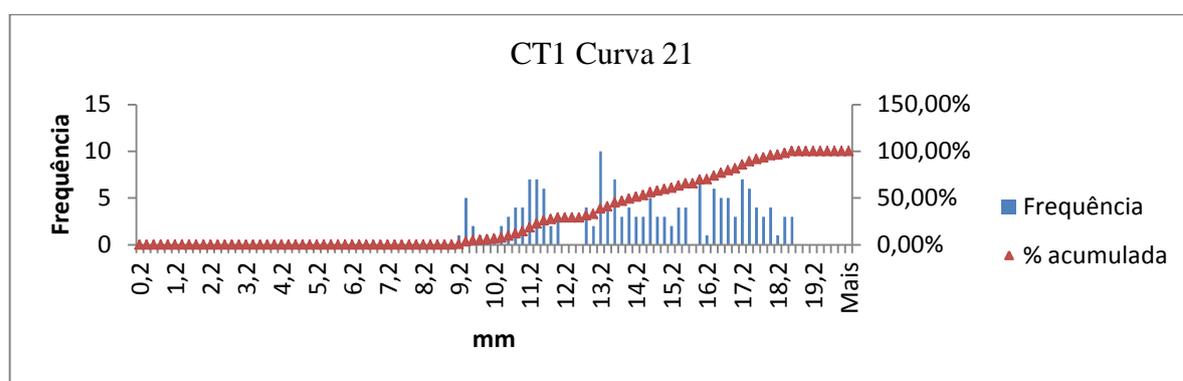


Figura 4.30 – Troço Santo - Tirso Lordelo: defeitos de bitola na CT2 da curva 21

Quando ocorrem situações em que as curvas de transição apresentam desenvolvimentos diferentes, a tendência é para uma concentração de desvios no troço de desenvolvimento mais curto. Quanto menor é a extensão do elemento maior é a tendência para o aparecimento de desvios. A amplitude dependerá também do valor dos raios de cada curva. É neste caso que os defeitos de empeno apresentam maior impacto uma vez que são responsáveis pelos descarrilamentos.

Assim, entre duas curvas de sentido contrário deve existir uma só transição com uma variação de flecha e escala constantes entre os “adoçamentos” adjacentes em plena curva. Quando tal não acontece surge um incremento de defeitos, originados pela resistência da curva, que depende do raio, bitola, estado dos carris e características do material circulante.

Estas questões centram-nos no tipo de problema que é importante conhecer melhor, os defeitos de via podem registar valores absolutos toleráveis, mas a sua distribuição no espaço pode desencadear instabilidade da via induzida por esforços anómalos.

Quando existe a conjugação de inclinações de traneis elevadas em curvas horizontais de raio reduzido, verifica-se um incremento nos desvios da bitola quando comparados com curvas do mesmo raio em traneis de inclinações mais suaves. Com efeito, a título de exemplo, nas Figuras 4.31 e 4.32 pode verificar-se que a curva nº 50, com o valor do raio de 250 m, apresenta um desvio de bitola inferior ao da curva nº 36b com valor do raio de 270 m, facto que se deve fundamentalmente às diferentes inclinações dos traneis na zona das curvas de 2,7‰ e 16‰, respectivamente.

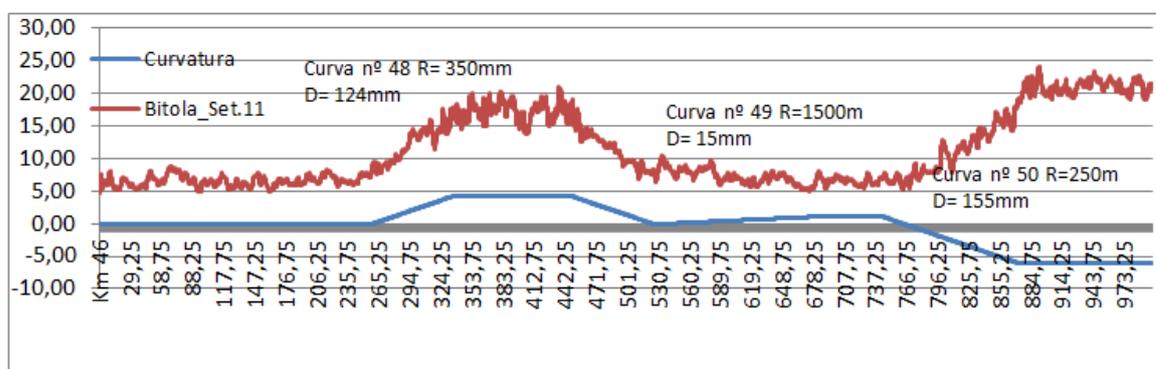


Figura 4.31 – Troço Lordelo-Guimarães: desvios da bitola. Inclinação tranel 2,7‰.

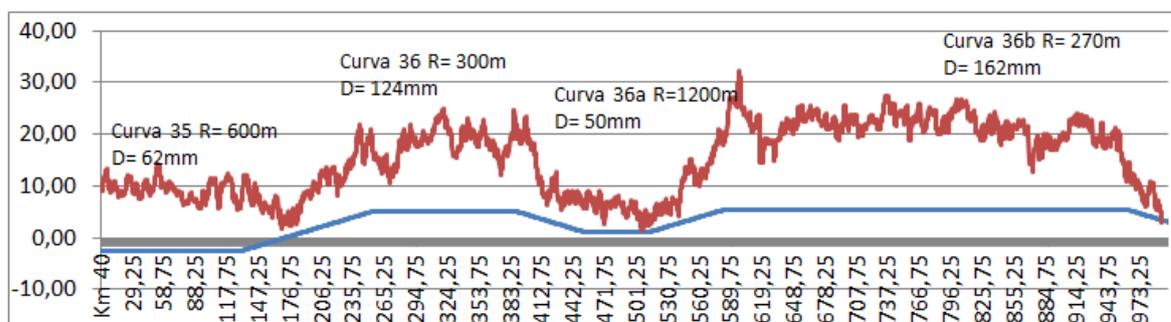


Figura 4.32 – Troço Santo Tirso – Lordelo: desvios da bitola. Inclinação tranel 16‰.

Em complemento apresentam-se os histogramas (Figuras 4.33 e 4.34) onde se apresentam os desvios da bitola nos segmentos correspondentes aos arcos circulares das curvas. Nos estudos das curvas constituem-se sempre três segmentos, a transição de entrada, o arco circular e a transição de saída.

Para o caso do raio de 250 m, verifica-se a maior frequência (104 elementos) para o desvio da bitola de 22 mm, com uma percentagem acumulada de 85,33%. O maior desvio é o de 24,5 mm que corresponde a uma percentagem acumulada de 100%. O arco circular da curva nº 36b está parcialmente em concordância vertical, o que acentua os resultados.

Verifica-se que, para o valor do raio de 270 m, a maior frequência (143 elementos) surge para o desvio da bitola de 22 mm, com uma percentagem acumulada de 53,48%. O desvio de 26,5 mm corresponde a uma percentagem acumulada de 97,06%.

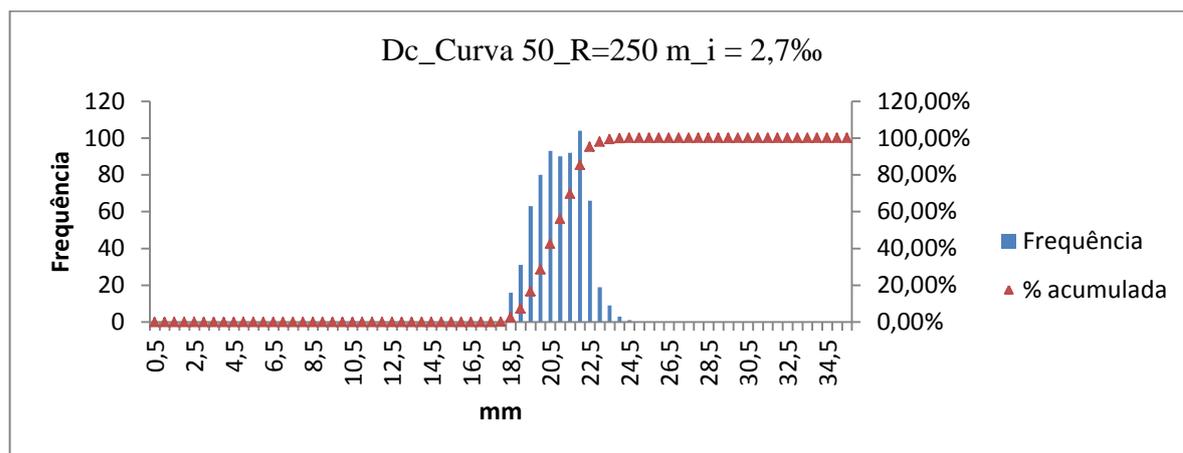


Figura 4.33 – Troço Lordelo-Guimarães. Defeitos de bitola no arco circular com 250 m e inclinação 2,7‰.

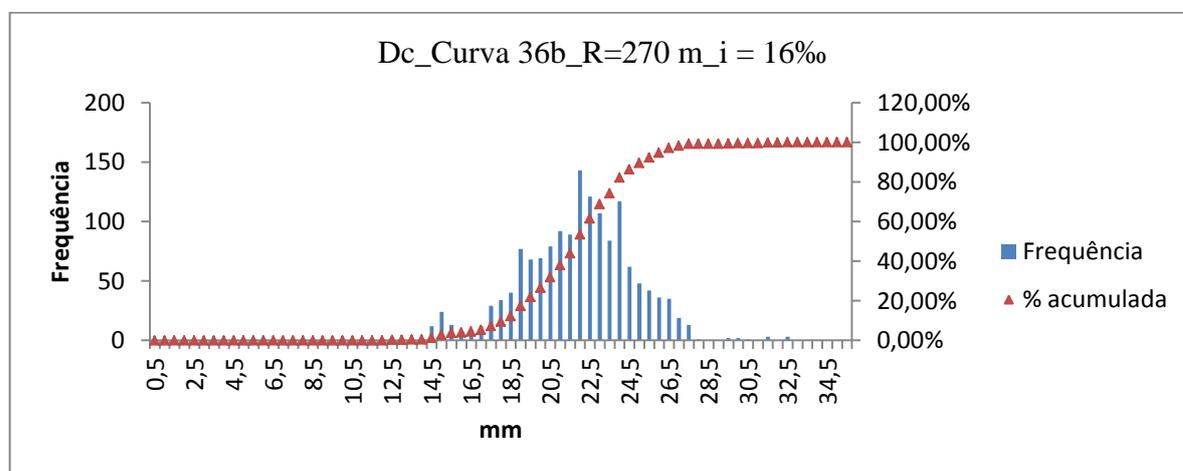


Figura 4.34 – Troço Santo Tirso-Lordelo. Desvios da bitola no arco circular com 270 m e inclinação 16‰.

Com os exemplos atrás referidos evidenciaram-se alguns aspectos das consequências que as características dos elementos geométricos podem apresentar no comportamento de uma via-férrea. Apesar da abordagem ter sido centrada nos desvios da bitola, os restantes parâmetros estarão aqui também reflectidos, pois torna-se difícil isolar os defeitos de bitola que na maioria das vezes reflectem sobretudo os defeitos de alinhamento.

Os desvios do nivelamento são sobretudo perceptíveis nos casos em que existem pontos singulares, nomeadamente passagens de nível, passagens inferiores e passagens hidráulicas. Os defeitos de empeno estão geralmente associados ao desenvolvimento das transições e ao disfarce de escala, verificando-se o seu incremento nos casos de maior disfarce de escala associado a transições curtas.

As curvas à saída das estações de Santo Tirso e de Caniços, nas quais houve, em projecto, um ligeiro sacrifício das velocidades máximas, para eliminar os efeitos negativos do excesso de escala, foram, apesar disso, objecto de intervenção a nível da esmerilagem correctiva, o que pode significar que as velocidades efectivamente praticadas são inferiores à velocidade projectada.

Sabe-se, e os desgastes assim o evidenciam, que os ângulos de desgaste em chanfro nas curvas de raio reduzido são bastante superiores ao desgaste lateral, o que comprova o esperado face às condições de inscrição. Se a bitola de 1668 mm nos oferece uma estabilidade bastante superior à das vias com bitola estreita, também oferece condições de inscrição consideravelmente inferiores, com consequências a nível do desgaste dos carris e das rodas.

Um traçado com a sinuosidade apresentada na Linha de Guimarães, numa bitola de via larga (1668 mm), exigiria um maior valor dos raios para a inscrição dos veículos, de modo a minimizar o desgaste dos carris, para além de diminuir a periodicidade nas acções de manutenção.

#### **4.6.2 Armamento**

Como referido, a linha em análise está equipada com armamento de via distinto nos três sub-troços. Várias zonas previstas em barra curta, em fase de projecto, foram transformadas em barra longa soldada. O comportamento da via nas zonas soldadas tem vindo a revelar-se satisfatório, o que tem sido um contributo para a redução das acções de manutenção da via. Factores como cargas actuantes, valores de insuficiência de escala moderados, face às velocidades praticadas, tipo de travessas e respectivas fixações, determinam o comportamento da barra longa.

O normativo em vigor, apesar de ser dos anos 80, refere que “*O aumento da resistência transversal da travessa e da fixação conduz a que possamos assentar a bls em raios cada vez menores*”. Efectivamente, neste caso, verifica-se que o valor do raio prescrito em normativo

para aplicação de barra longa ( $> 300 m$ ) foi reduzido com bons resultados. Este caso de estudo pode vir a constituir uma alteração ao normativo, não de uma forma generalizada, mas para casos similares de parametrização de via, características de material circulante e regime de exploração, com ganhos substanciais para a manutenção da via.

Da análise do Quadro 4.3 pode verificar-se que o perfil transversal tipo adoptado é um perfil cujas distâncias são reduzidas relativamente às normalizadas para o perfil de via larga e superiores às prescritas para via estreita. Trata-se portanto de um perfil transversal tipo intermédio. No que se refere à distância da face interior do carril à crista do talude de balastro, relevante para a resistência transversal da via, verifica-se que o valor prescrito é de 0,90 m, inferior ao do perfil de via larga de 1,00 m. No âmbito deste trabalho não foi aferida a distância existente, pelo que não poderão ser adiantadas considerações.

#### **4.6.3 Lubrificadores**

A lubrificação do sistema roda carril é feita através de lubrificadores fixos de carril instalados na via e de um sistema de lubrificadores de verdugo instalado no material circulante. Embora no âmbito deste trabalho não se comprove, admite-se, com base noutros casos estudados, que a lubrificação nesta linha apresenta maior eficácia devido ao sistema de lubrificadores de verdugo embarcados no material circulante. O posicionamento dos lubrificadores instalados na infra-estrutura, embora de acordo com o normativo em vigor, devido à sinuosidade do traçado, dificilmente se conseguirá otimizar. Se o lubrificante for colocado num ponto onde não haja contacto entre o verdugo e o carril não é transportado e acumula-se no local, perdendo o efeito desejado.

A possibilidade de passar a dotar apenas o material circulante de um sistema de lubrificação poderá constituir-se como uma hipótese a estudar, com vista a otimizar os custos de manutenção. O que se procura é que o débito de lubrificante ocorra exactamente no local onde o verdugo começa a tocar no carril.

#### **4.6.4 Sobrelarguras**

Como já referido, nos troços Santo Tirso - Lordelo e Lordelo - Guimarães, foram aplicadas sobrelarguras nas curvas com raios de valor inferior a 300 m. O normativo em vigor (REFER, 2008) prescreve a aplicação de sobrelarguras conforme o tipo de travessa e a gama dos valores dos raios. Não seria exequível assentar uma via com uma bitola para cada raio. Essa precisão, dispensável, complicaria os aprovisionamentos das travessas. Já hoje existem

limitações na aquisição dos jogos de fixações que permitam a aplicação de sobrelarguras superiores a 1678 mm para travessas de betão bi-bloco e monobloco equipadas, respectivamente, com fixações Nabla e Vossloh.

Recorre-se à aplicação de sobrelargura nas curvas de pequeno raio para permitir uma melhor inscrição dos veículos. Contudo, deve limitar-se essa sobrelargura ao menor valor possível, reduzindo ao mínimo o ângulo de ataque entre a roda e o carril, propiciando mais suavidade no rolamento em troços de elevada curvatura, diminuição da resistência ao avanço e, conseqüentemente, os desgastes nas rodas e nos carris.

A relação entre o raio da curva e a folga total (jogo da via mais a sobrelargura) para que não haja escorregamento da roda externa, pode ser dado pela Equação (5.26).

$$R = \frac{20re}{f}; \quad f = j + S; \quad \text{considerando a conicidade do aro das rodas} \quad \frac{1}{20} \quad (5.26)$$

Onde:  $r$  é o raio da roda, no círculo de rolamento;  $S$  é a sobrelargura;  $j$  é o jogo da via em recta;  $e$  é a distância entre círculos de rolamento das rodas de um eixo;  $f$  é a folga total;  $R$  é o raio da curva.

O valor do raio da curva para que não ocorra escorregamento da roda é função das características do material circulante ( $r$ ), da via ( $e$ ) e do conjunto ( $j$ ). A Equação (5.26) evidencia a importância do valor da bitola, que sendo directamente proporcional ao raio, quanto maior o seu valor, maior deverá ser o raio que lhe está associado, para que não ocorra escorregamento. Por outro lado o valor do jogo entre a posição da via e dos órgãos de rolamento e tolerâncias, apresenta-se também, como um factor determinante no dimensionamento do valor da sobrelargura a aplicar em cada linha.

O problema da sobrelargura está ligado a um campo complexo da inscrição de veículos em curva e para a sua resolução contribuem as características do material circulante, raio da curva e folgas.

Para análise das zonas onde se encontram localizadas as curvas dotadas de sobrelargura, procedeu-se à segmentação das mesmas em curva de transição de entrada, curva de transição de saída e arco circular, por ser no ponto de tangência entre a curva de transição e o arco circular que o valor da sobrelargura alcança o valor máximo. O disfarce da sobrelargura é executado na curva de transição.

O enfoque desta análise foi direccionado para o parâmetro bitola, que se relaciona directamente com as sobrelarguras. Apesar da complexidade desta análise, face ao número de

variáveis aleatórias em presença, foi possível equacionar um conjunto de padrões de comportamento da via.

Comparando o valor dos desvios da bitola para a gama de valores dos raios  $200 \leq R < 250$  (m) e inferiores e o valor dos desvios correspondentes à gama de valores dos raios  $250 \leq R < 300$  (m) verifica-se que existe uma diferença expressiva, mesmo tendo presente a diferença de 5 mm entre as sobrelarguras aplicadas em cada gama.

O caso que se evidencia corresponde às curvas n.ºs 15 e 50 de raios 220 m e 250 m, respectivamente, que pertencem a gamas de raios diferentes e consequentemente valores de sobrelargura distintos. O perfil longitudinal apresenta na primeira curva uma inclinação de 2,4‰ e outra de 0,6‰ ligadas por um ponto de quebra. Na segunda uma inclinação de 13‰ e outra de 2,7‰ ligadas através de uma curva de concordância vertical por um raio de 6400 m. Na curva com raio de 220 m e sobrelargura 10 mm o desvio de 22,5 mm corresponde a uma percentagem acumulada de 5,95% (Figura 4.35). Na curva de raio 250 m e sobrelargura 5 mm, o valor do desvio de 22,5 mm apresenta uma percentagem acumulada de 95,21% (Figura 4.36).

O desequilíbrio acentuado, nas situações analisadas, onde foram aplicadas sobrelarguras de 10 mm, pode indiciar que para algumas tipologias de material circulante o valor da sobrelargura pode ser excessivo.

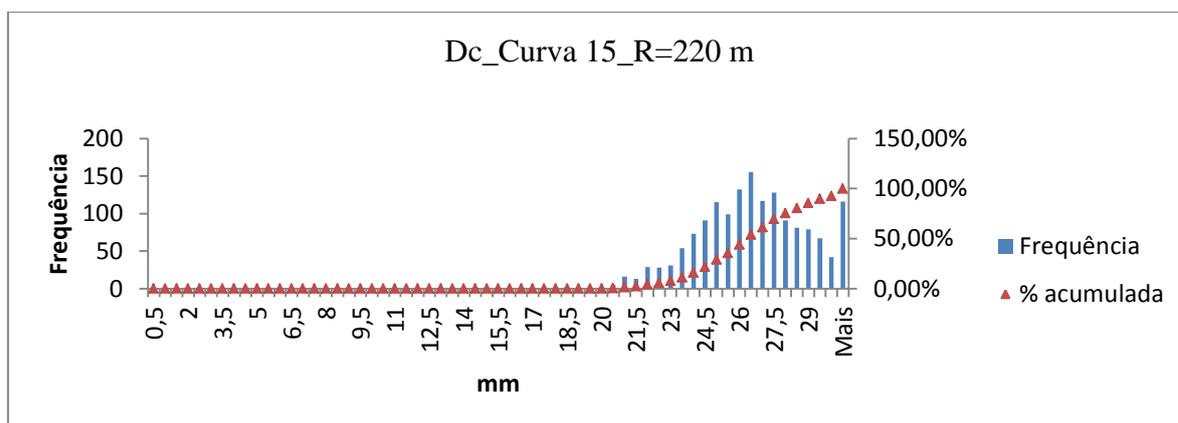


Figura 4.35 – Troço Santo Tirso-Lordelo: desvios de bitola. Sobrelargura 10 mm

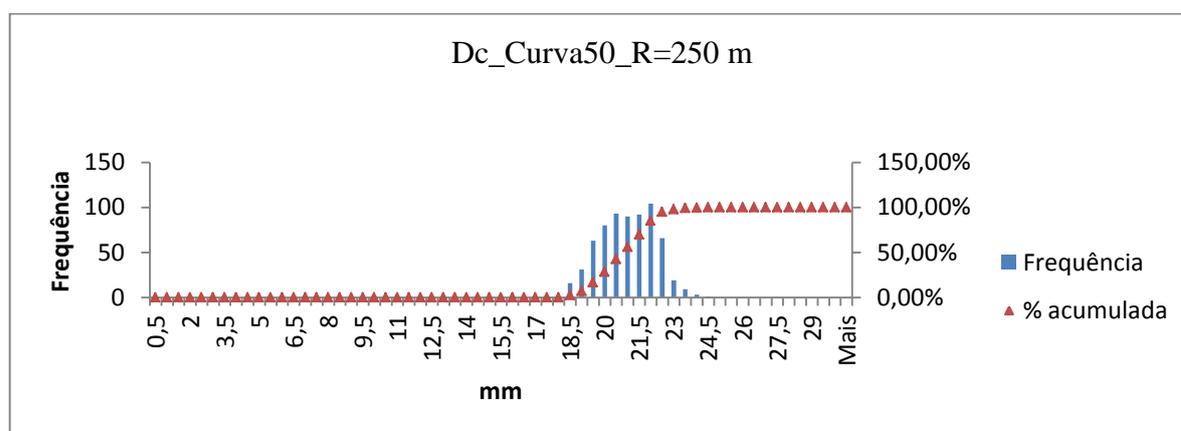


Figura 4.36 – Troço Lordelo - Guimarães: desvios de bitola. Sobrelargura 5 mm

O valor da inclinação dos traineis apresenta-se como um factor determinante no valor dos desvios da bitola. Quando na presença de um raio considerado reduzido, < 300 m, para a bitola 1668 mm, quanto mais acentuada for a inclinação maiores serão os efeitos nos desvios da bitola. Deve-se, por isso, eliminar as situações de sobreposição de traineis de inclinação elevada com curvas de raios reduzidos.

Também nas zonas de paragem das composições, de que se dá o exemplo do apeadeiro de Cuca, localizado numa zona de raio 270 m, os desvios de bitola são mais acentuados quando comparados com outros casos com as mesmas características de traçado onde não ocorrem paragens. Isto porque o aumento de bitola, na situação de arranque, mormente do bogie motor, incrementa o ângulo de ataque e, conseqüentemente, o aumento do desgaste.

Os raios com valores de 300 m e ligeiramente superiores apresentam valores de desvios de bitola muito similares aos desvios verificados nas curvas com valores de raios ligeiramente inferiores a 300 m. Esta situação indicia que em algumas situações o raio de 300 m exigiria a aplicação de sobrelarguras.

A problemática das sobrelarguras residirá sobretudo na exigência de um raio maior para a bitola 1668 mm, mais do que na aplicação de valores de sobrelarguras mais elevados. Porque não foi, neste âmbito, analisada a vertente material circulante o assunto não fica esgotado, pois torna-se necessário para conclusões definitivas uma análise a nível dos desgastes quer das rodas, quer dos carris, para aferir, quer as gamas de raios, quer os intervalos dos valores da sobrelargura.

Embora o desgaste lateral se apresente muito pronunciado, o ângulo de desgaste em chanfro evolui de forma mais acentuada, situação esperada face às condições de inscrição, com um

contacto quase permanente entre o verdugo da roda e o carril. As linhas com estas características apresentam-se como potenciais para uma precoce intervenção de substituição de carris.

A aplicação da sobrelargura tem como finalidade facilitar a inscrição dos veículos. No entanto, se não for aplicada no momento do assentamento dos carris e com os valores adequados, poderá ter um efeito nefasto. A aplicação de sobrelarguras deverá ter em conta o traçado (planta e perfil), bitola, tipo de travessas e fixações e características do material circulante (embasamento, diâmetro das rodas) e regime de exploração.

#### 4.6.5 Juntas dos carris

Em algumas curvas onde inicialmente se previra a utilização de barra curta, por apresentarem raios inferiores a 300 m, as barras de carril foram soldadas com êxito. Apesar disso, ainda se encontra via com juntas numa extensão de aproximadamente 2 km. As zonas de barra curta apresentam barras de carril com 36 m comprimento, com juntas desquadradas, que repousam sobre um par de travessas de madeira, com chapim duplo na fila da junta. As juntas de carril, soldadas ou eclissadas, são pontos de concentração de rigidez transversal da via e de maior dificuldade de conservação do nivelamento. A deformação permanente do alinhamento da via concentra-se sobretudo a meia distância entre juntas de carril. Para que não haja variação no desenvolvimento da curva, um defeito de alinhamento “positivo” tende a ser compensado a montante e a jusante por defeitos “negativos”. Haverá pois uma tendência para a ondulação do diagrama de flechas, determinada por exagerada curvatura de uma barra elementar de carril “compensada” por uma curvatura insuficiente das barras adjacentes. Os defeitos de alinhamento poderiam ser aproximadamente representados por uma lei sinusoidal com amplitude igual ao defeito médio da barra e comprimento de onda igual a duas vezes o da barra elementar.

As juntas de carril introduzem excitações periódicas no sistema elástico da suspensão dos veículos, que por seu lado tem efeitos nos esforços na via. Verifica-se através dos registos uma amplitude de defeitos bastante superiores a outras zonas com barra longa. Os diagramas (Figura 4.37) obtidos nos registos apresentam um aspecto de “dente de serra”, em que os valores representados indicam a diferença para a bitola nominal. Constatam-se que as flutuações dos valores cresce no caso da via com juntas, originando picos de  $\frac{dI}{dt}$ , que podem atingir valores superiores ao limite da comodidade. As juntas de carril provocam defeitos geométricos consideráveis que influenciam a geometria da via em todos os seus parâmetros. Porque a amplitude de defeitos é mais significativa neste tipo de via (Figura 4.38) a vigilância

que tem de ser efectuada é mais exigente. A via degrada-se com maior facilidade, obrigando naturalmente a um maior custo de manutenção.

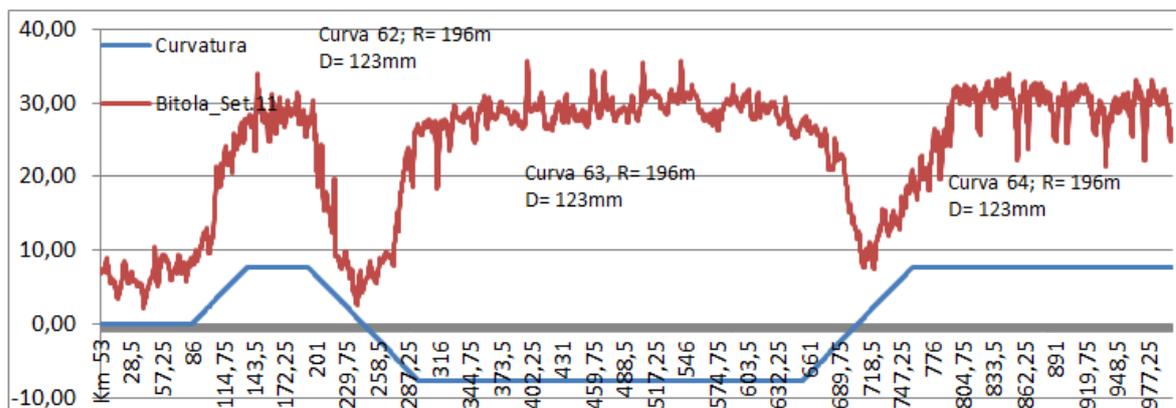


Figura 4.37 – Troço Lordelo – Guimarães: desvios de bitola em zonas de barra curta

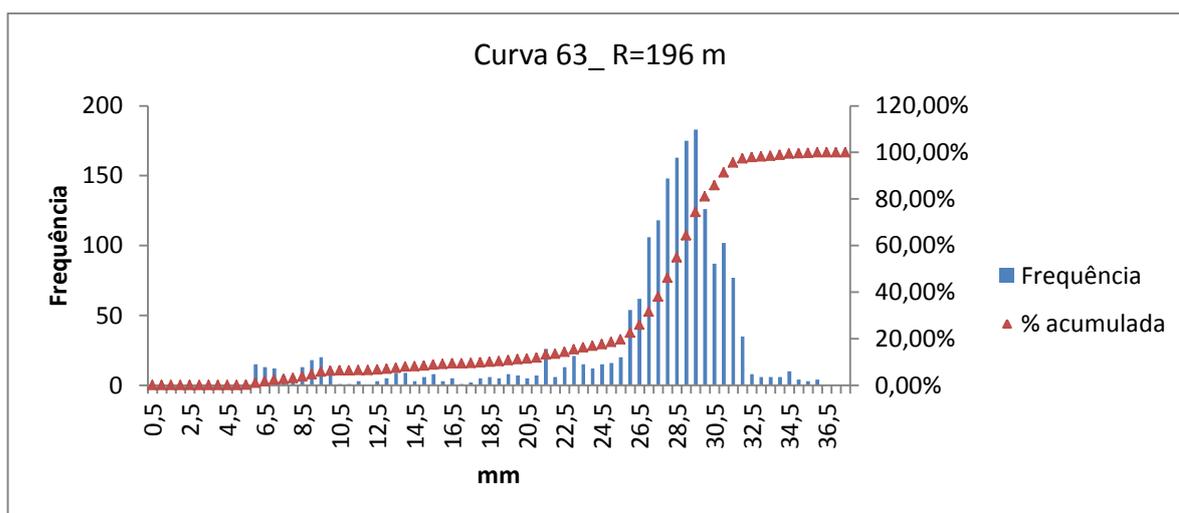


Figura 4.38 – Troço Lordelo-Guimarães: desvios de bitola em zonas de barra curta

#### 4.6.6 Plataformas de passageiros

A norma IPQ (2007) recomenda que o valor do raio das curvas em vias adjacentes às plataformas de passageiros, não seja inferior a 500 m, prescrição que se destina a limitar a dimensão da lacuna entre as plataformas e os veículos para facilitar o acesso em segurança aos comboios. É também referido no mesmo documento, que a escala seja limitada a 110 mm.

No subcapítulo 4.5.3 foram caracterizadas as estações e apeadeiros. Verifica-se em várias situações que o traçado apresenta, nas zonas de plataformas de passageiros, curvas com raios inferiores a 500 m e escalas elevadas. Noutros casos, as plataformas de passageiros estão inseridas em zonas do traçado com curva e contracurva.

A definição da implantação da bordadura das plataformas, Equação (3.20) tem em conta, além dos deslocamentos reais atrás referidos (raio e escala), os deslocamentos aleatórios relacionadas com defeitos da via e dissimetria dos veículos. Tem ainda em conta o desgaste dos carris, mais acentuados em raios reduzidos, e as folgas do material circulante. Estes últimos factores concorrem para o risco associado à ocorrência de interferências entre o material circulante e as bordaduras das plataformas. A dificuldade de compatibilização é acrescida quando estamos em presença de plataformas com altura de 0,90 m, medidos em relação à mesa de rolamento dos carris.

Este cenário torna difícil compatibilizar, por um lado, a segurança do tráfego ferroviário, sem colisões com a plataforma e por outro oferecer uma acessibilidade correcta aos passageiros.

Apesar do material circulante em exploração oferecer algumas características que minoram o problema dos acessos, em várias estações se verificam lacunas entre as plataformas e os veículos, com valores que prejudicam o acesso dos passageiros.

Os efeitos que seriam sentidos se a linha fosse explorada por material circulante diverso apresentam-se minorados, pelo facto de apenas circular uma tipologia de comboio (UME), com paragem em todas as estações e apeadeiros.

A implantação das plataformas não sendo a mais correcta, em termos normativos, foi a possível, face às condicionantes decorrentes da reconversão da linha. Numa linha nova ou com recurso a variantes tal situação não seria permitida.

## 5 CONCLUSÕES E LINHAS DE INVESTIGAÇÃO FUTURAS

Em diversos países ainda hoje subsiste a falta de uniformidade de bitola, quer nas suas ligações internas quer nas ligações aos países vizinhos. Alguns países, sobretudo os que fazem fronteira com múltiplos países, como por exemplo os da Europa central, desde cedo procederam a alterações para uniformizar a bitola nas suas principais ligações com as redes limítrofes. Porém, nas ligações internas ainda hoje, motivados por questões de orografia e consequentemente económicas, vários países mantêm no interior das suas redes diferentes tipos de bitola. A mudança de bitola arrasta consigo um conjunto de questões de ordem técnica e na sua sequência económica, que exigem uma ponderação lógica sobre as vantagens que daí advêm para a operação dos sistemas.

Sabe-se que a mudança de bitola de via larga para via estreita apresenta questões de ordem técnica de mais fácil resolução face à alteração de bitola de uma via estreita para uma via larga, devido às implicações que esta mudança acarreta a nível da plataforma da via, obras de arte e armamento da via.

Apesar de ser um tema ainda não esgotado, a tendência parece apontar para o desenvolvimento de ligações externas internacionais e padronizadas, permitindo as trocas comerciais sem limitações entre os diversos países. Nas redes internas é importante tentar encontrar as soluções mais económicas e adaptadas à realidade de cada rede.

Para análise do problema da bitola é necessário conhecer a potencialidade que cada uma oferece e nessa medida conhecer os parâmetros de dimensionamento, bem como o sistema onde está inserida, descortinando as vantagens da escolha de um determinado tipo de bitola.

No dimensionamento de uma linha, a bitola é um dos parâmetros primordiais para a definição das condições de estabilidade, segurança e conforto, exigindo-se, por isso, o conhecimento das implicações que esta variável apresenta no referido dimensionamento. Uma via de bitola estreita apresenta potencialidades a nível de velocidades e transporte de cargas que muitas vezes é esquecida. Veja-se a linha de caminho-de-ferro entre Vitória e Minas, dotada ao transporte de minério, e na Austrália a prática da velocidade de 160 km/h com bitola 1067 mm. Quanto mais larga é a bitola melhores condições de estabilidade oferecerá mas piores serão as de inscrição. Neste caso, com raios bastante reduzidos para uma via de bitola larga, é espectável que ocorra um desgaste de carris prematuro, sobretudo os relativos ao ângulo de desgaste, situação que começa a evidenciar-se.

As decisões futuras sobre esta matéria não podem deixar de ter em consideração o conhecimento adquirido por via de situações existentes e das quais já se podem retirar algumas conclusões sobre as opções técnicas tomadas e suas consequências a nível da manutenção da via e operacionais.

Com esse objectivo foi analisado no presente trabalho a conversão da via estreita para via larga da linha de Guimarães. A linha hoje em via larga, à semelhança da original em via estreita, apresenta grande sinuosidade e pendentes apreciáveis. As velocidades praticadas não apresentam incremento significativo relativamente à antiga de via estreita, até porque o regime de exploração, no tráfego dominante, oferece paragens em todas as estações e apeadeiros.

A vantagem desta conversão resulta na utilização do mesmo material circulante utilizado nos suburbanos do grande Porto. Neste aspecto, não pode ser esquecido que esta linha apenas tem ligação à rede geral numa das extremidades, estação de Lousado, terminando na outra numa estação de testa, Guimarães.

Deve ser ponderada a reconhecida vantagem da utilização do material circulante que circula na restante rede, quando confrontada com as questões técnicas resultantes da conversão com consequências na manutenção da via, para garantir os níveis de conforto e segurança exigidos.

Verifica-se que o traçado de via larga apresenta limitações inerentes a uma conversão deste tipo, já que a orografia do terreno e as limitações impostas pelos aglomerados populacionais exigiriam para um traçado mais adequado a uma via larga um conjunto de ripagens com valores mais generosos e até mesmo variantes, o que tornaria a intervenção num custo bastante elevado. Esta situação originou uma sequência de elementos geométricos, alinhamentos rectos e curvos de curta extensão, que não consentem a estabilização dos movimentos dos veículos de um elemento para outro, dando origem a perturbações do movimento, que se propagam para as zonas colaterais proporcionando deformações na via que recorrentemente têm de ser corrigidas, através de intervenções de manutenção. As inclinações dos traineis com valores significativos, conjugadas com as curvas em planta, também são responsáveis por incrementos a nível dos desvios do valor da bitola e consequente desgaste dos carris.

Por outro lado, com o recurso a curvas de raios de valor reduzido (196 m), mesmo com a utilização de lubrificadores fixos de via e aplicação de sobrelarguras com vista à minimização dos desgastes, assiste-se a valores de desgaste provocados que indiciam a substituição dos carris prematuramente. A aplicação de barra curta, decorrente do valor dos raios aplicados,

conduz a uma manutenção da via mais frequente e exigente, tornando-a bastante mais onerosa.

Também a aplicação de um número elevado de lubrificadores contribui para o custo acrescido, não só de primeiro investimento, mas de manutenção no seu período de vida útil.

Nesta linha, com tráfego predominantemente suburbano e com paragens frequentes, a velocidade de circulação é relativamente baixa. Contudo, pese embora a parametrização tenha tido esse factor em linha de conta o excesso de escala em algumas situações ainda é inevitável o que, dificulta a inscrição de veículos, agrava significativamente a resistência ao movimento, os desgastes e deformações da geometria e os consumos de energia de tracção, resultando um aumento dos custos de exploração, sem contrapartida significativa.

Embora não sejam quantificados os custos, por dificuldades na sua disponibilização, crê-se que o seu apuramento pode constituir-se importante para futuras decisões. Além disso, deve ser motivo de ponderação face ao enquadramento desta linha na rede geral se a vantagem que advém da utilização do mesmo material circulante compensa os factores que contribuem para o aumento de custo em termos de exploração da linha.

Na sequência desta análise poderemos indicar algumas linhas de orientação de estudos futuros que contribuirão para ajudar na decisão da escolha de um tipo de bitola:

- Estudo da gama de raios para aplicação das sobrelarguras considerando a bitola 1668 mm, bem como os intervalos de raios, considerando o jogo e tolerâncias do material circulante e da via;
- Avaliação contínua dos níveis de desgaste dos carris e das rodas, por elemento geométrico, transições e desenvolvimento circular das curvas, que compõem o traçado da linha de Guimarães, em função das características do material circulante, nomeadamente embasamento e perfil das rodas, bem como das tolerâncias máximas e mínimas do material circulante e da via;
- Tratamento regular dos defeitos de via, comparando com a geometria da via projectada, para estabelecimento de padrões do comportamento da via, regulando as regras de projecto para a bitola 1668 mm, tendo em conta as características do material circulante;
- Apuramento dos custos da manutenção associados a situações que decorrem da estrutura sequencial, alinhamentos rectos e curvos e suas extensões;

- Avaliação do desgaste em curvas onde a lubrificação do sistema roda e carril seja, apenas, com recurso ao sistema de lubrificadores de verdugo instalado no material circulante;
- Desenvolvimento de modelos de comportamento da via através da análise dos dados registados anualmente pelo veículo de inspeção EM120;
- Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão de manutenção de via considerando modelos de comportamento e uma análise de custos no ciclo de via da via-férrea.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allias, J. (1984). “La Voie Ferrée Technique de Construction e d’Entretien”. Eyrolles, Paris.
- Brina, H. (1979). “Estradas de Ferro”. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, Rio de Janeiro.
- CEN (2009), “EN 15273:2009 – Applications ferroviaries – Gabarits – Partie 1: Généralités – Règles communes à l’infrastructure et au matériel roulant”.
- CEN (2009), “EN 15273:2009 – Applications ferroviaries – Gabarits – Partie 2: Gabarit du matériel roulant ”.
- CEN (2009), “EN 15273:2009 – Applications ferroviaries – Gabarits – Partie 3: Gabarit des obstacles”.
- CP@ (2011). [http://www.cp.pt/sobrenos/p\\_historia.html](http://www.cp.pt/sobrenos/p_historia.html). Caminhos-de-ferro Portugueses (página da internet oficial), Lisboa.
- Esveld, C. (2001). “Modern Railway Track”. MRT - Productions, Zaltbommel, Netherlands.
- Kerr, A. (2003). “Fundamentals of Railway Track Engineering”. Simmons –Boardman Books, Inc., Nebraska.
- GAPRES (2001). “Linha de Guimarães, Troço Lordelo/Guimarães - Projecto de Execução”.
- GIBB (2000). “Linha de Guimarães, Remodelação do Troço Santo Tirso/Lordelo - Projecto de execução”.
- Gonçalves, E. (1974). “Caminhos-de-ferro”. AEIST, Lisboa.
- IPQ (2007). “NP ENV 13803-1:2007 - Aplicações ferroviárias – Parâmetros de projecto de traçado de via – Bitolas de via de 1435 mm e de valor superior – Parte 1: Plena Via”.
- Lupiáñez, S.(2010). “Modelización de la interacción via-tranvía”, Trabajo fin de carrera, Prémio Comsa EMTE de ferrocarriles, IX Edición.
- Maynar, M. (2008). “Apuentes e introducción a la dinámica vertical de la vía e a las señales digitales en ferrocarriles”. Gráficas Gallagor, Madrid.
- Molinari, J. (1999). “Éléments de Mécanique Ferroviaire : Relations entre paramètres de voie, sécurité et vitesse de circulation”. Groupe interdisciplinaire de réflexion sur les traversées sud-alpines et l’aménagement du territoire Maralpin.
- Nakagomi, K. (2006), “ Líneas com via de três carriles em Espanã”, TIFSA, (Dirección General de Obras Y Mantenimiento), ADIF, Madrid.
- Ordax, M. (2006). “Análisis y desarrollo de las adaptaciones tecnológicas en infraestructura y vehículos para la implantación de un sistema de tranvitrén sobre líneas de ferrocarriles de vía estrecha (FEVE)”.Tese doctoral. Universidad de A Coruña. Coruña.

- ORE (1983). “Prevention of derailment of goods wagon on distorted tracks”. Report nº 8 (Final Report), Utrecht.
- Profillidis, A. (2000). “Railway Engineering”, Second Edition, Ashgate Publishing Company, Burlington, Vermont.
- REFER (1980). “Norma Técnica Nº 4/b: Fiscalização e Recepção dos Trabalhos de Renovação de Via – Carris e travessas”.
- REFER (1996). “ITV-004: Lubrificadores Fixos de Via”.
- REFER (2004). “IT.GER.004.01: Perfis Transversais Tipo de Plena Via, para Via Larga”.
- REFER (2008). “IT.VIA.002.02: Bitolas de Via Larga, Sobrelarguras e Tolerâncias”.
- REFER (2009a). “IT.VIA.018.02: Tolerâncias dos parâmetros geométricos da via”.
- REFER (2009b). “IT.VIA.019: Verificação das juntas dos carris. Tolerâncias”.
- REFER (2009c). “IT.VIA.020.01: Parâmetros de projecto de linhas de bitola 1000 mm”.
- REFER (2009d). “IT.VIA.021: Tolerâncias de desgaste do perfil do carril”.
- REFER @ (2011). <http://www.refer.pt/MenuPrincipal/REFER/GestaodeRede/DirectoriodeRede>. Rede Ferroviária Nacional (página da internet oficial), Lisboa.
- Ribeiro, J. et al (2005), “Os comboios em Portugal. Do vapor à Electricidade,” Volume II, Lisboa.
- Rives, F. et al (1977). “Tratado de Ferrocarriles I, Via”, Editorial Rueda, Madrid.
- Rivier, R. (2004). “Systèmes de Transport I, la voie ferrée, géométrie et tracé général”. Document nº 401/14, Laboratoire d’Intermodalité des Transports et de Planification, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
- UIC (1989). Ficha 703 R. “Caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides”, 2<sup>a</sup> édition.
- UIC (2003). “Réduction des temps de parcours sur lignes nouvelles. Note Synthèse”.

## ANEXOS

## Anexo A-1

## Troço Lousado - Lordelo: parâmetros geométricos

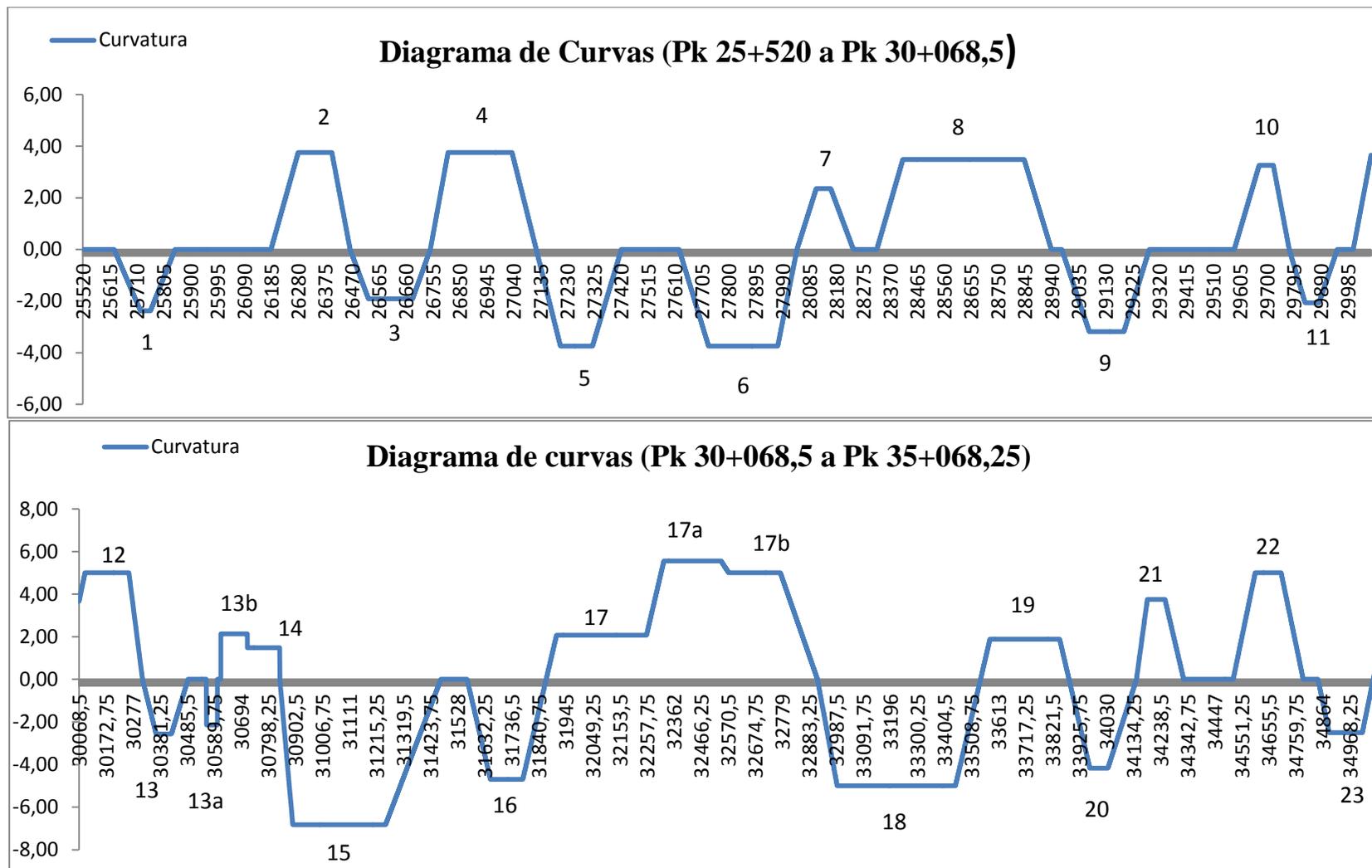
	Curva Nº.	Raio (m)	Transições		Desenv. Circular (m)	Escala Prática (mm)
			Entrada (m)	Saída (m)		
Subtroço: Lousado Santo - Tirso	1	631,00	93,00	87,00	35,00	84
	2	400,00	96,00	64,50	119,00	126
	3	786,00	64,50	62,50	156,00	67
	4	402,00	62,50	85,50	226,00	120
	5	398,00	62,50	102,00	113,00	125
	6	399,00	104,00	68,00	244,00	125
	7	636,00	68,00	80,00	51,00	77
	8	434,00	92,00	96,00	428,00	112
	9	474,00	97,00	90,00	122,00	104
	10	461,00	88,00	56,00	50,00	105
	11	725,00	56,00	65,00	49,00	72
	12	299,00	86,00	52,50	169,00	47
	Subtroço: Santo Tirso - Lordelo	13	585,00	52,50	64,00	59,00
13a		700,00	0,00	0,00	42,00	0
13b		700,00	0,00	16,00	102,00	0
14		1012,50	0,00	11,00	114,00	0
15		220,00	50,01	213,62	349,42	73
16		320,00	90,00	89,99	125,11	112
17		725,00	39,72	67,00	347,43	56
17a		270,00	67,00	31,48	123,76	163
17b		300,00	31,48	96,00	83,98	131
18		300,00	96,00	96,00	436,60	131
19		800,00	36,00	36,00	269,17	54
20		360,00	80,00	80,00	69,97	120
21		400,00	72,00	72,00	68,22	108
22		300,00	85,00	85,00	100,44	128
23		600,00	42,49	42,51	128,28	36
24		480,00	53,14	72,99	88,34	45
24a		265,00	72,99	90,00	276,07	133
25		397,50	60,00	40,01	134,19	130
25a		1080,00	40,01	58,49	123,76	70
25b		300,00	58,49	81,00	83,98	172
26		360,00	67,50	67,50	89,85	88
27		360,00	67,50	135,00	172,21	88
28		1800,00	40,52	13,50	113,46	22
29		360,00	67,51	67,50	129,12	108
30		300,00	64,00	64,00	216,07	77
31		1200,00	16,00	40,00	67,24	16
32		25000,00	29,94	29,34	77,28	15
33		10000,00	30,00	30,00	64,79	15
34	600,00	100,00	100,00	71,73	120	
35	600,00	83,70	40,50	328,17	62	
36	300,00	81,00	60,75	137,50	124	
36a	1200,00	60,75	69,74	65,01	50	
36b	270,00	69,74	90,00	373,36	162	
37	285,00	85,27	85,26	471,18	154	
38	540,00	45,00	58,35	119,77	68	
39	600,00	52,51	52,49	119,77	54	
40	320,00	100,00	100,00	148,00	120	

## Anexo A-2

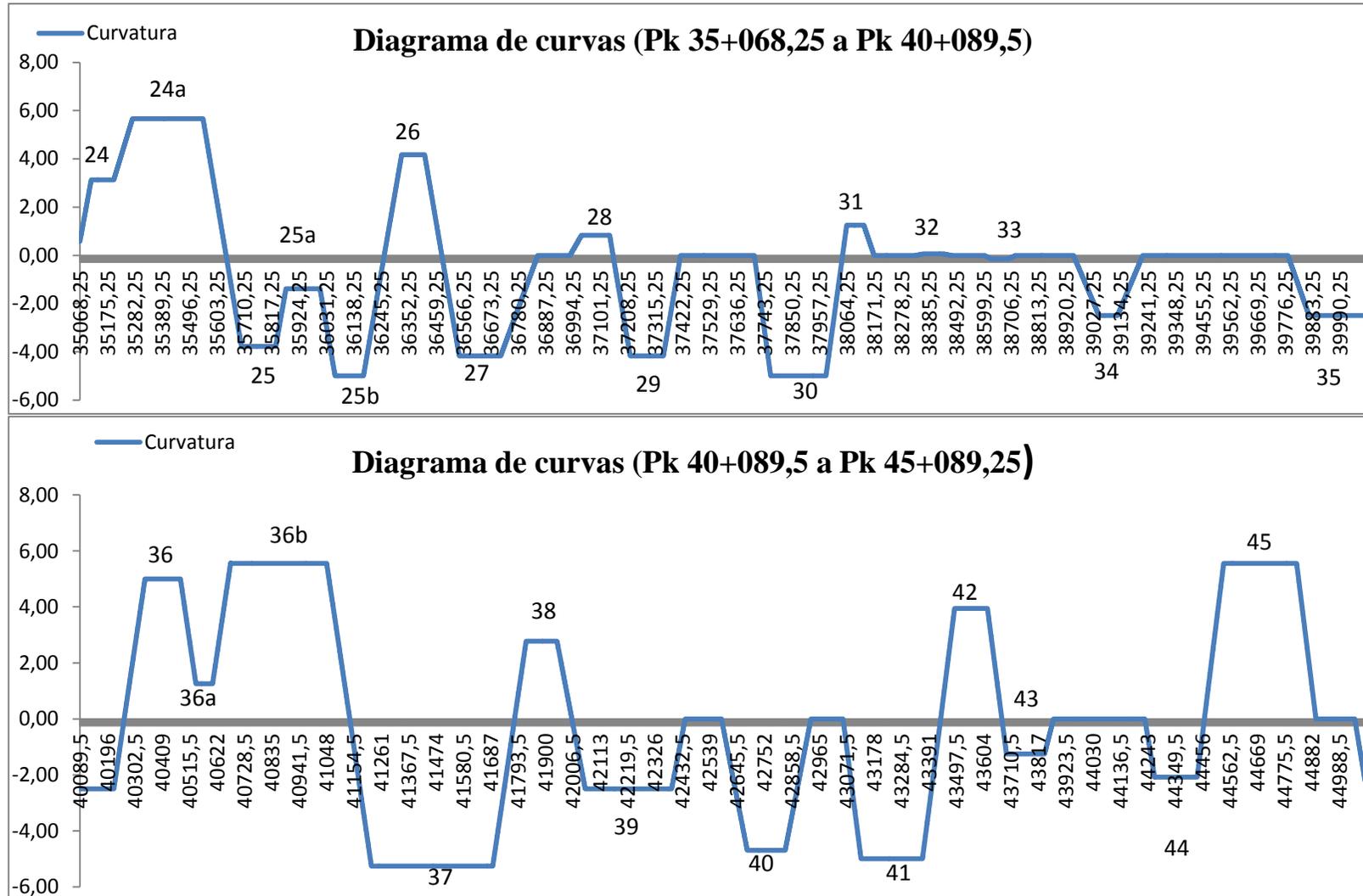
## Troço Lordelo - Guimarães: parâmetros geométricos

	Curva N°.	Raio (m)	Transições		Desenv. Circular (m)	Escala Prática (mm)
			Entrada (m)	Saída (m)		
Subtroço: Lordelo - Guimarães	41	300,00	70,00	70,00	238,50	133
	42	380,00	55,26	55,26	128,65	104
	43	1200,00	17,50	35,00	148,76	35
	44	720,00	37,50	28,13	165,89	54
	45	270,00	75,00	75,00	284,10	150
	46	360,00	75,00	40,00	85,49	135
	46a	400,00	40,00	40,00	152,60	115
	46b	840,00	40,00	42,23	11,90	60
	47	300,00	118,25	90,00	128,23	164
	48	350,00	77,14	77,14	110,00	124
	49	1500,00	30,00	18,00	71,55	15
	50	250,00	108,00	70,00	168,02	155
	50a	1500,00	70,00	91,00	64,88	50
	50b	200,00	91,00	60,00	207,27	78
	50c	1600,00	60,00	30,00	133,59	0
	51	2500,00	30,00	30,00	103,04	0
	52	5000,00	30,00	30,00	54,36	15
	53	1125,00	60,00	60,00	142,98	60
	54	530,00	60,00	60,00	83,36	98
	55	530,00	60,00	94,52	89,92	98
	56	6000,00	30,00	9,00	109,80	10
	57	1600,00	33,75	90,00	233,58	54
	57a	320,00	90,00	112,50	237,35	152
	58	640,00	56,25	84,38	187,53	80
	59	640,00	84,38	84,38	151,33	80
	60	5000,00	30,00	8,00	71,81	10
	61	400,00	100,00	40,00	245,75	75
	62	196,00	51,02	51,02	57,98	123
	63	196,00	51,02	51,02	358,57	123
	64	196,00	51,02	51,02	412,52	123
	65	200,00	50,00	50,00	150,50	120
	66	900,00	30,00	27,00	47,00	15
67	225,00	108,00	0,00	350,00	60	
67a	900,00	0,00	0,00	118,00	0	
68	1000,00	0,00	0,00	76,96	0	

Anexo A-3



Anexo A-4



Anexo A-5

