



Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Área Departamental de Engenharia Civil

ANÁLISE DOS MÉTODOS DE MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DE VIA E CORRELAÇÃO ENTRE OS DADOS OBTIDOS

DUARTE EVARISTO FERREIRA BENTO

Licenciado

Relatório de Estágio para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na
Área de Especialização Vias de Comunicação e Transportes

Orientador:

Licenciado em Eng. Civil, António Artur Sequeira da Cruz, Equiparado Assistente
do 2º T, ISEL

Júri:

Presidente: Licenciada em Eng. Civil, Luísa Maria Ferreira Cardoso Teles Fortes,
Prof. Adjunta do ISEL, Especialista da OE

Vogais:

Licenciado em Eng. Civil, Francisco José Poço Marques Asseiceiro, Director do
Gabinete de Estudos e Projectos da Ferrovias e Construções, S.A.

Licenciado em Eng. Civil, António Artur Sequeira da Cruz, Equiparado Assistente
do 2º T, ISEL

Dezembro de 2011

Dedico à minha irmã e aos meus pais,

Resumo

A razão atribuída à escolha do tema do T.F.M. em Caminhos-de-ferro, tem a ver com o facto de ser uma via de comunicação específica. Contrariamente ao que acontece na execução de auto-estradas, no caminho-de-ferro, a gestora da infra-estrutura responsabiliza-se pela execução, exploração (sinalização e controlo de circulação), abastecimento de energia fornecida às vias que dispõem de catenária (tracção eléctrica), manutenção e conservação da via.

O processo de análise e inspecção de geometria de via, é usado quando é necessário preservar a infra-estrutura. Este processo iniciou-se nos caminhos-de-ferro portugueses, há muitos anos, depois da inauguração do primeiro troço de linha férrea. A primeira viagem ocorre em Outubro de 1856, sendo o início do processo em 1968, com a dresina “Matisa PV-6”.

Em 1991 a C.P. adquiriu outro veículo de inspecção de via, tendo sido escolhido o VIV02 EM 120 da marca Plasser & Theurer, para substituir “Matisa PV-6”.

O tema Análise dos Métodos de Medição dos Parâmetros Geométricos de Via e Correlação entre os Dados Obtidos está directamente relacionado com a manutenção e conservação de via.

Na Unidade Operacional Sul (hoje ROS – Região Operacional Sul), local onde desenvolvi o T.F.M., não existem obras de construção de caminhos-de-ferro que pudesse acompanhar e constituir tema para o meu trabalho. Na realidade, com a falta de investimento que se perspectiva no futuro próximo, a manutenção da infra-estrutura passa a ser a actividade principal desenvolvida pela REFER, de modo a assegurar a comodidade, segurança e rapidez na deslocação de cargas e pessoas.

A Análise Geométrica de Via é actualmente uma das principais actividades no âmbito da manutenção, que é feita por diagnóstico, contrariamente ao que acontecia no passado em que a conservação metódica era realizada num determinado ano num troço seleccionado independentemente da necessidade ou não da mesma. Uma ajuda preciosa, no que se refere à decisão de se realizar um determinado trabalho de conservação, é a do veículo VIV02 EM 120 que faz inspecções ao longo de toda a rede ferroviária e permite recolher dados e classificar através do desvio padrão, troços com extensão de 200 metros, obtendo os dados relevantes sobre a necessidade de intervenção. Para além do referido veículo existem também equipamentos ligeiros de inspecção dos parâmetros geométricos de via. Um desses equipamentos designa-se por Tróleí, não sendo motorizado, pois o mesmo é movido manualmente por um

operador. Obviamente que este equipamento não faz a inspecção a toda a rede pois a operação de medição é morosa, sendo contudo utilizado para análise de defeitos geométricos em pequenos troços, tornando-se assim uma mais-valia, evitando o deslocar de um equipamento “pesado” como o VIV 02 EM 120.

Para atingir os objectivos deste trabalho realizaram-se testes de medição com ambos (veículo e equipamento ligeiro), no mesmo espaço temporal e com as mesmas características físicas, como a temperatura, humidade etc.

Os resultados, de acordo com os objectivos, são a comparação entre as medições de ambos, com vista a comprovar a sua utilidade e necessidade, de acordo com os vários tipos de superestruturas constituintes da rede ferroviária nacional.

Abstract

The reason for the choice of the theme of the Master's final work on Railways is related to the fact that it is a specific means of communication. As opposed to the construction of highways, during the construction of a railway the infrastructure manager is in charge of the construction, functioning (signals and circulation management), power supply to ways with catenary (electrical traction), railway track maintenance and conservation.

The analysis and inspection of the tracks geometry is used when it becomes necessary to preserve the infrastructure. The Portuguese rail started this process many years after the opening of the first line section. The first journey took place in October 1856 and the process of analysis and inspection started in 1968 with the track car "Matisa PV-6".

In 1991 the Portuguese rail purchased another vehicle to replace "Matisa TV-6". It was VIV02 EM 120 from manufacturers Plasser & Theurer.

The topic Analysis of the Measurement Methods of Geometrical Parameters and Correlation of Data is directly related to railway track maintenance and conservation.

In the South Operating Unit, where I will be developing my probation work, there is no significant railway construction taking place that I could use as a topic for my work. In fact, with the prediction of lack of investment in the near future, the maintenance of the infrastructure is becoming REFER's main activity so that comfort, safety and speed in the transportation of goods and people can be assured.

The Geometrical Analysis of the Railway tracks is nowadays the main activity related to maintenance. It is made by means of diagnosis, as opposed to what used to happen in the past when in a given year a methodical conservation of a chosen line section was executed, regardless of its necessity.

A precious help in the decision of whether to execute a given conservation work is that of the VIV02 vehicle, which inspects the rail network so that data can be collected and 200 meter long sections can be classified using the standard deviation, thus obtaining the required results on the need for action.

In addition to this vehicle there is also light equipment for the inspection of the geometrical parameters of the railway tracks, one of which is called Trolley as it is non-motorised but operated manually.

Of course, this equipment couldn't inspect the entire network because the measuring operation is time-consuming. However, it is used to analyse geometrical defects of short line sections, thus being valuable, as it makes the dislocation of heavy equipment, such as VIV 02 EM 120, unnecessary.

In order to achieve the above-mentioned objectives, measurement tests of both vehicle and equipment are planned. This will occur at the same time and under the same physical situations, such as temperature, humidity, etc.

According to the objectives, the results obtained will be the comparison of results of both measurements, thus verifying the usefulness of vehicle and equipment and their need, according to the different types of superstructures which are part of the national railway network.

Agradecimentos

Agradecimento é uma forma de dedicar e homenagear a entajuda prestada por todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho final de mestrado.

Sem essa preciosa colaboração seria de todo impossível obter o mesmo conhecimento isoladamente.

Deste modo quero agradecer:

O apoio prestado pelo Engenheiro António Sequeira da Cruz – Responsável pela Área Recursos e Desenvolvimento Profissional na REFER, que através do seu trabalho como docente no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, desde cedo mostrou a sua disponibilidade para acompanhar alunos interessados em desenvolver o T.F.M. na área de caminhos-de-ferro.

O Eng. Sequeira da Cruz permitiu estabelecer contacto com a REFER e assim numa primeira abordagem a Dra. Vanessa Moreira dos recursos humanos apresentou a estrutura e hierarquia da REFER, colocando-se ao dispor para iniciar o processo de documentação de acesso ao estágio.

Depois de estar devidamente estabelecido o local onde iniciar o estágio, no qual tive o apoio do Engenheiro Vítor Pereira – Responsável pelo Centro de Manutenção de Setúbal a quem devo muito pela sua ajuda em todos níveis. Pela sua disponibilidade para acompanhar no reconhecimento de toda a estrutura e pessoas que trabalham na UOS, do seu “know-how”, permitir a interligação com outras Unidades Operacionais.

Mais do que o modo como me apresentou à estrutura que orienta em Setúbal, quero agradecer a sua simpatia, amizade e a forma como me integrou junto do seu grupo de trabalho.

Nesse grupo de trabalho agradeço ao Eng. Joaquim Reis - Responsável pelo Centro de Manutenção de Setúbal ‘Sinalização’, Francisco Rosa – Assistente de Gestão, Vítor Conceição – Técnico de Segurança.

Ao Supervisor de Infra-estrutura José Faria, Supervisor de Infra-estrutura Sérgio Balcão, Supervisor de Infra-estrutura Carlos Oliveira; Encarregado de Infra-estrutura Sidónio da Silva, pela sua colaboração no acompanhamento de ordens de serviço.

A todos do Centro Manutenção de Setúbal, pela ajuda, companheirismo e camaradagem.

Ao Especialista Artur Lino e Francisco Cegonho, Engenheiro Paulo Martins da Gestão da Manutenção - Entroncamento, agradeço o modo como se disponibilizaram a ajudar no conhecimento do VIV-02 EM 120 e Krab Light.

Ao Eng. Rui Burrinha – Coordenação da Monitorização; Eng. André Santos pela disponibilização de informação; Director Eng. Marco Baldeiras – Director de Inspeção e Monitorização, pelo seu interesse e ajuda na resolução de problemas.

Aos técnicos e trabalhadores das empresas que acompanhei em trabalhos nocturnos, como a Neopul-Somague, Ferrovias e Somafel.

Aos meus pais, irmã e namorada mais do que um agradecimento devo-lhes todo o caminho percorrido ao longo desta etapa, o curso de Engenharia Civil, pelo modo como sempre acreditaram em mim, constituindo a minha base existencial, transmitindo o seu modo digno de viver.

A todos os meus amigos e restante família pelo modo como sempre me acolheram e me integraram nas suas vidas.

Índice do Texto

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 – EQUIPAMENTO DE VERIFICAÇÃO E INSPECÇÃO DE VIAS FERROVIÁRIAS	5
2.1 DESCRIÇÃO DO VEÍCULO DE INSPECÇÃO DE VIA 02 EM-120	5
2.1.1 Caracterização dos Sistemas de Medição	7
2.1.2 Sistemas de Medição	7
2.1.3 Funcionamento da Caixa Inercial	7
2.1.4 Perfis Transversais da Via	15
2.1.5 Medição do Perfil de Carris	16
2.1.6 Geo-Radar	17
2.1.7 Desgaste Ondulatório	18
2.1.8 Os Parâmetros Geométricos de Via	20
2.1.9 Output VIV 02 EM 120	25
2.2 KRAB LIGHT – 11/2008 - AUSCULTADOR DE GEOMETRIA DE VIA	27
2.3 VANTAGENS QUE DECORREM DA UTILIZAÇÃO DO TRÓLEI COMO EQUIPAMENTO LIGEIRO	34
2.4 TOLERÂNCIAS	37
2.5 ÍNDICES DE QUALIDADE	38
2.5.1 Desvio Padrão	38
2.5.2 Índice de Qualidade - TQI	40
Cálculo do índice global de Qualidade da Geometria	41
2.6 COMPARAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE QUALIDADE	42
2.7 NORMAS DO COMITÉ EUROPEU DA NORMALIZAÇÃO	44
2.7.1 EN 13848-1 Caracterização da Geometria da Via	45
2.7.2 EN 13848-2 Dispositivos de Medição – Veículos de Recolha de Dados	47
2.7.3 EN 13848-3 Especificação para Aparelhos de Medição - Equipamentos Instalados nas Máquinas de Manutenção de Via-Férrea	52
2.7.4 EN 13848-4 Especificação para Aparelhos de Medição – Medição de Via por Tróleis e Equipamentos Manuais	52
2.7.5 EN 13848-5 Avaliação da Qualidade Geométrica	53
CAPÍTULO 3 - RESULTADOS	55
3.1 METODOLOGIA	55
Caracterização da Rede Ferroviária Nacional	55
3.2 TESTES/ENSAIOS	60
3.3 GRÁFICOS, ANÁLISE DE DADOS (OUTPUTS)	63
CAPÍTULO 4 - DISCUSSÃO	87
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO	99
VANTAGENS PRÁTICAS	105

Índice de Figuras

FIGURA 1 – VIV02 EM 120	6
FIGURA 2 – SISTEMA APPLANIX.....	9
FIGURA 3 – ARQUITECTURA FUNCIONAL DO SOFTWARE DO VIV 02 EM 120.....	11
FIGURA 4 – POS INSTALAÇÃO DE HARDWARE: INSTALAÇÃO OGMS (À ESQUERDA) E INSTALAÇÃO IMU (À DIREITA). 13	
FIGURA 5 - SISTEMA DE MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DE VIA	14
FIGURA 6 - SISTEMA DE LASER – RADAR INTEGRADO NA TRASEIRA NO VEÍCULO DE INSPECÇÃO EM-120	15
FIGURA 7 - MONITORIZAÇÃO SOBRE LEITURA DE PERFIS TRANSVERSAIS	15
FIGURA 8 - MEDIÇÃO DA GEOMETRIA DO CARRIL.....	16
FIGURA 9 – TRÊS ANTENAS DO GEO-RADAR LOCALIZADAS NO CENTRO DO CHASSIS DA EM 120	17
FIGURA 10 – COMPUTADOR COM O REGISTO DO GEO-RADAR	17
FIGURA 11 – NIVELAMENTO LONGITUDINAL	20
FIGURA 12 - BITOLA	21
FIGURA 13 – LOCALIZAÇÃO NO VIV 02 EM 120 ONDE É EFECTUADA A LEITURA DE BITOLA	21
FIGURA 14 - EMPENO.....	22
FIGURA 15 - NIVELAMENTO TRANSVERSAL	23
FIGURA 16 - ALINHAMENTO.....	24
FIGURA 17 - PARÂMETROS GEOMÉTRICOS APÓS ANÁLISE DO SOFTWARE ESPECÍFICO DO VIV02 EM 120.....	26
FIGURA 18 – KRAB LIGHT	29
FIGURA 19 – COMPUTADOR DE BORDO COM GPS	29
FIGURA 20 – RODAS DO KRAB E ROLETES DE CABEÇA DE CARRIL	30
FIGURA 21 – MONITOR DE INICIO DE MEDIÇÃO	31
FIGURA 22 – AVALIAÇÃO DE GRÁFICOS DE GEOMETRIA DA VIA	32
FIGURA 23 – PROPRIEDADES DO GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NORMAL.....	39

Índice de Tabelas

TABELA 1 – QUANTIFICAÇÃO DA GEOMETRIA DE VIA PELO AUSCULTADOR DE VIA KRAB LIGHT	31
TABELA 2 – ÍNDICE GLOBAL DE QUALIDADE	41
TABELA 3 – ERRO MÁXIMO ADMISSÍVEL DE ACORDO COM AS TRÊS GAMAS RELATIVAMENTE AO NIVELAMENTO LONGITUDINAL E TRANSVERSAL E BITOLA	46
TABELA 4 - ERRO MÁXIMO ADMISSÍVEL DE ACORDO COM AS TRÊS GAMAS RELATIVAMENTE AO EMPENO.....	47
TABELA 5 – GAMA DE VALORES QUE OS EQUIPAMENTOS TÊM CAPACIDADE DE MEDIR; EMPENO ± 15 MM/M	47
TABELA 6 – TOLERÂNCIAS DOS TESTES DE REPRODUTIBILIDADE	48
TABELA 7 – TOLERÂNCIAS DOS TESTES DE REPETIBILIDADE	49
TABELA 8 – INCERTEZA QUANTO AO NIV. LONGITUDINAL E ALINHAMENTO	50
TABELA 9 – LIMITES DE REPRODUTIBILIDADE	51
TABELA 10 – LIMITES DA REPETIBILIDADE	51
TABELA 11 – LIMITE DE ACÇÃO IMEDIATA.....	53
TABELA 12 – LIMITE DE INTERVENÇÃO	54
TABELA 13 – LIMITE DE ALERTA	54
TABELA 14 – SECÇÃO TIPO 1, PERCENTAGEM ACUMULADA.....	90
TABELA 15 – SECÇÃO TIPO 2, PERCENTAGEM ACUMULADA.....	90
TABELA 16 – SECÇÃO TIPO 3, PERCENTAGEM ACUMULADA.....	90
TABELA 17 – SECÇÃO TIPO 1, PERCENTAGEM ACUMULADA.....	92
TABELA 18. – SECÇÃO TIPO 2, PERCENTAGEM ACUMULADA.....	92
TABELA 19 – SECÇÃO TIPO 3, PERCENTAGEM ACUMULADA.....	92
TABELA 20 – SECÇÃO TIPO 1, PERCENTAGEM ACUMULADA.....	93
TABELA 21 – SECÇÃO TIPO 2, PERCENTAGEM ACUMULADA.....	94
TABELA 22 – SECÇÃO TIPO 3, PERCENTAGEM ACUMULADA.....	94
TABELA 23 – SECÇÃO TIPO 1, PERCENTAGEM ACUMULADA.....	95
TABELA 24 – SECÇÃO TIPO 2, PERCENTAGEM ACUMULADA.....	95
TABELA 25 – SECÇÃO TIPO 3, PERCENTAGEM ACUMULADA.....	95
TABELA 26 – SECÇÃO TIPO 1, PERCENTAGEM ACUMULADA.....	96
TABELA 27 – SECÇÃO TIPO 2, PERCENTAGEM ACUMULADA.....	96
TABELA 28 – SECÇÃO TIPO 3, PERCENTAGEM ACUMULADA.....	97
TABELA 29 – COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS ANALISADOS.....	102

Índice de Gráficos

GRÁFICO 2 – PADRÃO DO TERRENO COM CONFIGURAÇÃO APROXIMADA DE $\lambda = 60$ M.....	46
GRÁFICO 1 – PADRÃO DO TERRENO COM CONFIGURAÇÃO APROXIMADA DE $\lambda = 5$ M.....	46
GRÁFICO 3 – ANDAMENTO DO PARÂMETRO BITOLA, NA SECÇÃO TIPO 3, TROÇO_7, SEM ACERTO QUILOMÉTRICO.....	63
GRÁFICO 4 - ANDAMENTO DO PARÂMETRO BITOLA, NA SECÇÃO TIPO 3, TROÇO_7, COM ACERTO QUILOMÉTRICO.....	63

Índice de Histogramas

HISTOGRAMA 1 – SECÇÃO TIPO 3, PARÂMETRO BITOLA AO LONGO DA CURVA DE TRANSIÇÃO.....	65
HISTOGRAMA 2 – SECÇÃO TIPO 3, PARÂMETRO BITOLA AO LONGO DA CURVA CIRCULAR	66
HISTOGRAMA 3 – SECÇÃO TIPO 3, PARÂMETRO BITOLA AO LONGO DO ALINHAMENTO RECTO	67
HISTOGRAMA 4 – SECÇÃO TIPO 2, PARÂMETRO BITOLA AO LONGO DA CURVA DE TRANSIÇÃO.....	72
HISTOGRAMA 5 – SECÇÃO TIPO 2, PARÂMETRO BITOLA AO LONGO DA CURVA CIRCULAR	73
HISTOGRAMA 6 – SECÇÃO TIPO 2, PARÂMETRO BITOLA AO LONGO DO ALINHAMENTO RECTO	74
HISTOGRAMA 7 – SECÇÃO TIPO 1, PARÂMETRO BITOLA AO LONGO DA CURVA DE TRANSIÇÃO.....	79
HISTOGRAMA 8 – SECÇÃO TIPO 1, PARÂMETRO BITOLA AO LONGO DA CURVA CIRCULAR	80
HISTOGRAMA 9 – SECÇÃO TIPO 1, PARÂMETRO BITOLA AO LONGO DO ALINHAMENTO RECTO	81

Lista de Siglas e Símbolos

TFM – Trabalho Final de Mestrado

REFER – Rede Ferroviária Nacional

CP – Comboios de Ferro Portugueses

EPE – Entidade Publica Empresarial

VIV – Veiculo de Inspeção de Via

MC – Máquinas de Conservação de Via

GPS – Sistema de Posicionamento Global

OGMS – Sistema Óptico de Medição de Bitola

IMU – Unidade de Medição Inercial

PCS – Sistema Computacional

POS – Software de Processamento de Dados Recebidos

KLD – Unidade de Controlo Electrónico de Medição do Perfil Transversal do Carril

TQI – Índice de Qualidade de Via

TC – Aplicação Ferroviária Normalizada

WG – Grupo de Trabalho da Normalização Europeia

CEN – Comité Europeu da Normalização

EN – Norma Europeia

Km/h – Unidade de Velocidade no Sistema Internacional Quilómetros por Hora

Km - Unidade de Comprimento quilómetro

m – Unidade de Comprimento metro

cm – Unidade de Comprimento centímetro

mm – Unidade de Comprimento milímetros

mm^2 - Unidade de área em milímetros

Kg – Unidade de Peso Quilograma
Hz – Unidade de frequência hertz
dB – Unidade de Intensidade Sonora decibéis
Pk – Ponto Quilométrico
BLS – Barras Longas Soldadas
ITV – Instrução Técnica de Via
NTV – Norma Técnica de Via
AMV – Aparelho de Mudança de Via
UOS – Unidade Operacional do Sul
ROS – Região Operacional do Sul
CMSS – Centro de Manutenção de Setúbal
CT – Curva de Transição
CC – Curva Circular
AL - Alinhamento Recto
R - Raio

Capítulo 1 – Introdução

Origem e remodelações sofridas ao longo de mais de 150 anos de história, foi assim que inicialmente a designada Companhia Real dos Caminhos de Ferro deu nome a REFER.

Assim no dia 28 de Outubro de 1856, realizou-se a primeira viagem de comboio no troço entre Lisboa e Carregado, ou seja, iniciou-se a construção e constituição da rede ferroviária em Portugal, há cerca de 155 anos. Nos anos seguintes, até ao presente momento coexistiram diversas empresas públicas e privadas. A primeira foi a Companhia Real dos Caminhos de Ferro, constituída em 1860. Não obstante, surgiu a integração no ano de 1951 com a constituição da Companhia dos Caminhos de Ferro Portugueses. Em seguida a CP – Caminhos de Ferro Portugueses, E.P. foi criada em 1975 como empresa pública responsável pela gestão do caminho-de-ferro em Portugal.

Em 1997, ao abrigo do Decreto-lei n.º 104/97 institui-se a criação da Empresa Responsável pela gestão da infra-estrutura ferroviária – REFER.

Esse Decreto-lei, obriga à separação entre a gestão da infra-estrutura e a sua exploração. Assim, a gestão da infra-estrutura fica a cargo da REFER EPE, ficando a exploração a cargo dos operadores nomeadamente CP, Fertagus e Takargo. Na CP é implementada uma organização mais flexível compatibilizando a descentralização operacional e comercial assente em Unidades de Negócio.

Mesmo antes da referida separação, já existia na CP EP, a preocupação de realizar a manutenção da infra-estrutura, nomeadamente da via, com recurso a um veículo de diagnóstico, pois os custos de mão-de-obra e materiais, teriam de ser geridos de uma forma mais criteriosa, devido ao seu aumento exponencial. Face a esta nova realidade foi iniciado em 1968, o diagnóstico dos parâmetros geométricos da via com aquisição da dresina “Matisa PV-6”, tendo mais tarde sofrido uma actualização (1985), com a introdução de um sistema informático, programado para calcular os índices de qualidade da via a cada 500 metros, com base nos defeitos detectados. Os defeitos detectados eram impressos, indicando o seu tipo, valor e respectiva localização bem como dos eventos. A velocidade de operação do referido veículo, era de 25 km/h em plena via e 10 km/h em aparelhos de mudança de via. Devido à evolução tecnológica este veículo estava obsoleto. Daí a razão para a aquisição de outro veículo de inspecção de via. O veículo adquirido foi o EM 120 da marca Plasser & Theurer, em

1991. Este veículo tinha evidentes vantagens sobre os outros veículos existentes no mercado, além de ter a possibilidade de implantar equipamentos adicionais, tornando-o mais versátil e competitivo.

Em Novembro de 2000, o VIV02 EM 120 foi remodelado. A determinação dos parâmetros geométricos era até ao momento feita com contacto físico com a via. A evolução permite a partir da referida data, retirar o bogie intermédio e introduzir-lhe sistema de leitura que determina as acelerações sofridas pelo veículo em deslocamento, com maior eficácia e mais completo.

O presente relatório de estágio com o título Análise dos Métodos de Medição dos Parâmetros Geométricos de Via e Correlação entre os Dados Obtidos, visa a análise de geometria de via executada actualmente pelo VIV02 EM 120 da marca Plasser & Theurer e a interdependência com os dados obtidos através da inspecção de via com um equipamento de inspecção ligeiro designado por Trólei, da marca Krab Light.

Os parâmetros geométricos analisados são os seguintes: alinhamento, nivelamento transversal e longitudinal, empeno e bitola. Associado a cada parâmetro está uma determinada tolerância. Essa tolerância define o intervalo de valores que cada parâmetro pode ter em função de determinadas características, como é o caso da velocidade permitida para a circulação.

Especificamente serão analisados os sistemas de medição, parâmetros geométricos do veículo e equipamento de inspecção VIV02 EM 120 e do Trólei da marca Krab Light, respectivamente. Relativamente ao veículo VIV02 EM 120 será feita uma deslocação no mesmo com vista a verificar o modo de operação e presenciar todos os elementos que o constituem.

Os sistemas de medição devem ser analisados tanto ao nível de hardware como software, ou seja, será necessário perceber a função de todos os componentes assim como a interacção entre os mesmos de modo à obtenção dos parâmetros geométricos.

No caso do Trólei será feita uma experiência num troço posteriormente analisado pelo veículo VIV02 EM 120 com o intervalo temporal mínimo desejável, estudando os resultados de cada inspecção de modo a poder analisar, comparar e chegar a conclusões pertinentes sobre a sua utilização.

Uma vez que será usado o segundo equipamento, será necessário estudar as instruções de utilização e calibração garantindo a fiabilidade dos resultados.

Os sistemas de medição devem ser analisados de modo a obter uma possível comparação não só a nível de resultados como a nível de medição entre ambos os veículos de inspecção.

Seguidamente é feita uma análise sobre a utilização dos dois modos de análise da geometria de via evidenciando as vantagens que decorrem da sua utilização.

De forma a certificar e comparar os Caminhos de Ferro Portugueses com os Caminhos-de-ferro dos restantes países Europeus é necessário estudar as indicações do Comité Europeu da Normalização.

Desta forma será estudada a Norma Europeia EN 13848, a ITVIA 018, ao nível das tolerâncias permitidas sobre os parâmetros geométricos, em que este último documento foi homologado pela REFER, empresa responsável pela prestação do serviço público de gestão de infra-estrutura integrante da rede ferroviária nacional.

Estruturalmente o relatório de estágio será composto por 5 capítulos:

Introdução – Descrição do enquadramento do tema do T.F.M., os objectivos que se pretendem atingir, a metodologia ao longo do processo em estudo e finalmente a sua estrutura.

Seguidamente será feita descrição dos equipamentos de verificação e inspecção de via.

No capítulo 2 será descrito o software e hardware, modo de funcionamento, interligação entre os vários sistemas, modo de registo do veículo de inspecção de via VIV02 EM 120 da marca Plasser & Theurer, do equipamento ligeiro de inspecção de via Trólei Krab Light. De modo a certificar os registos do VIV02 EM-120 e Krab light serão analisadas as normas Europeias e documentos normativos Portugueses.

No capítulo 3 – Resultados, são analisados os parâmetros geométricos comparando os dados recolhidos pelo VIV02 EM-120 e Krab Light de modo a verificar a sua correlação.

No que se refere à metodologia, o objectivo seria recolher dados de inspecção do VIV 02 EM-120 e do Trólei Krab Light, em diferentes tipos de vias balastradas, ou seja, com superestruturas que diferissem entre si, no mesmo espaço temporal de modo a que as condições da via se mantivessem idênticas, e assim analisar e comparar de modo a chegar a conclusões sobre a análise gráfica e numérica sobre os dados de output do VIV e do Trólei.

Capítulo 4 será composto pela discussão onde devem ser feitas inferências, conjecturas e explicadas as opiniões de acordo com a comparação de resultados.

Capítulo 5 será composto pela conclusão.

Capítulo 2 – Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

2.1 Descrição do Veículo de Inspeção de Via 02 EM-120

No período que antecedeu a última reestruturação funcional da rede ferroviária, esta era intervencionada consoante análises/inspeções técnicas através de meios manuais e do veículo VIV-01 (dresina PV6) fabricada pela Matisa, com uma velocidade de operação máxima de 25 km/h, que realizou este trabalho desde 1968. As intervenções eram feitas por troços/secções, em que o nível de intervenção estava associado a uma programação que não tinha em conta a natureza da via e o seu grau de utilização. Ao longo dos anos têm vindo a registar-se um aumento das velocidades de circulação, do número de composições e das cargas por eixo, factores que levam à degradação precoce da via. Deste modo aumentou significativamente o custo da mão-de-obra, havendo necessidade de adoptar outra metodologia de inspeção/análise e conservação à rede ferroviária, no entanto este não foi o factor decisivo. A evolução tecnológica foi a principal razão que levou ao investimento nesta área em detrimento do equipamento informático obsoleto assim como os gastos de manutenção que seriam superiores ao previsto com o novo sistema.

Com a evolução dos meios de análise e inspeção surge um novo conceito de verificação de via designado de “Manutenção por Diagnóstico”. O objectivo é analisar a qualidade executada através de uma recolha de dados rigorosos e fiáveis que servem de base aos inúmeros órgãos de gestão dos trabalhos de via.

Deste modo em 1991 foi adquirido o equipamento designado VIV02 EM 120, tal como é demonstrado na figura seguinte. Este veículo é fabricado pela Plasser & Theurer, autónomo de propulsão a gasóleo, com sistemas de medição, que permite leituras e registos, até aos 120 km/h, dos parâmetros geométricos de via, correspondente à sua velocidade máxima. Devido às significativas evoluções este veículo foi modificado no ano de 2000, através da instalação de equipamentos modernos relativamente à medição dos parâmetros geométricos de via.

Após a recolha desses dados, são tratados por sistemas de software específico. Outra inovação associada à reformulação do EM 120, tem a ver com o facto de actualmente o veículo fazer a medição sem contacto, ou seja, a análise efectuada decorre do seu

Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

comportamento em movimento, de modo a que não ocorra utilização de elementos de contacto, com a via.

Assim recria condições reais de solicitação sobre a via, no processo de inspeção em carga (inspeção dinâmica), devido ao seu peso, cerca de 50 toneladas.

Este veículo pertence à REFER e está integrado na Direcção Geral de Exploração da Infra-Estrutura, Direcção de Gestão da Manutenção.

Com a aquisição deste veículo reduz-se exponencialmente a necessidade de análise na via através de pessoas, em que a inspeção visual é feita através de equipamentos ligeiros, ou seja, este veículo contribui para a maior celeridade do processo de análise, maior segurança para os trabalhadores, dados mais rigorosos, que assim permitem intervenções com maior sucesso. Deste modo, criou-se um processo contínuo de análise passível de comparação com dados relativos a anos anteriores. Todos estes factores contribuem para um melhoramento contínuo, permitindo uma rede ferroviária mais eficiente, assegurando melhores condições de comodidade e segurança aos passageiros e rapidez no transporte de carga.



Figura 1 – VIV02 EM 120

2.1.1 Caracterização dos Sistemas de Medição

Actualmente o veículo EM-120 está inserido num programa base anual, segundo o qual executa duas campanhas a toda a rede e análises trimestrais à linha do Norte. Além deste trabalho, o veículo também procede a inspeções geométricas a linhas novas, ramais e alguns trabalhos de renovação, rebalastragem e ataque pesado, sendo uma preciosa ajuda na recepção dos trabalhos. Como é compreensível a deslocação deste veículo não é feita sempre que ocorra registo de determinada irregularidade num troço, ou seja, continuam a existir sistemas de medição manual que permitem avaliar situações pontuais, quer por motivos económicos, de ocupação da infra-estrutura e tempo de intervenção, que deverá ser o mínimo possível.

2.1.2 Sistemas de Medição

O sistema de medição é constituído pelos seguintes equipamentos:

Receptor de GPS; Caixa Inercial; Encoder; OGMS.

2.1.3 Funcionamento da Caixa Inercial

O sistema de medição do EM 120, segundo documento interno da REFER, intitulado de Diagnóstico e Qualidade de Via, baseia-se nas coordenadas geográficas, ou seja, a cada leitura efectuada pelo IMU a posição dos carris é identificada pelos parâmetros latitude, longitude e altitude. A quantificação destes parâmetros é feito através de um sistema que calcula previamente os valores de acordo com a posição e orientação do (IMU), através da latitude, longitude, altitude e ângulo que X faz com o Norte (Giroscópio) e dos ângulos que X e Y fazem com a horizontal (Acelerómetros).

Quando o sistema arranca, e o veículo está imobilizado, o GPS identifica a posição do (IMU).

A identificação das coordenadas geográficas é feita através do GPS. Os acelerómetros detectam a aceleração da gravidade, consoante os valores registados segundo os 3 eixos. O ângulo que X faz com o Norte é registado através dos giroscópios ópticos que detectam a rotação da terra quando o veículo está imobilizado.

Em movimento o IMU efectua uma medição em cada 0,005 segundos definindo uma nova posição.

“A nova posição é obtida de duas formas:

- Os giroscópios medem três variações angulares, associando a distância percorrida pelo Encoder que fornece a nova posição do IMU;
- Os acelerómetros medem três acelerações, descontado o valor da aceleração da gravidade, e aplicando as equações de Newton do movimento que fornece também a nova posição.” (REFER, 2001)

As duas posições obtidas são comparadas e corrigidas internamente pelo sistema.

O GPS regista a cada segundo uma posição que é comparada com as duas anteriormente referidas, e essa posição entrará caso necessário para cálculo da correcção. Assim a precisão do sistema (Applanix) depende do grau de precisão dos seguintes dispositivos de medição: Giroscópios; Encoder; Acelerómetros e GPS.

Com o novo sistema de medição (IMU), a recolha de dados não é executada nos elementos da superestrutura, ou seja, na posição dos carris. Consoante a determinação das acelerações provocadas pela superestrutura sobre o veículo de inspeção e informação base como o valor da bitola padrão, são determinados os parâmetros geométricos, como está descrito detalhadamente no anexo A. Com este sistema elimina-se o defeito do antigo relativamente à acumulação de erros. Como foi explicado anteriormente o (IMU), dispõe de elementos que possibilitam a determinação de uma nova posição através de formas distintas, de modo a poderem ser comparadas e corrigidas por um conjunto de filtros e sistema GPS a cada segundo, ao longo do processo de inspeção e análise.

GPS/IMU – APPLANIX

Sistema inercial dotado de GPS que permite produzir aplicações de geometria e geo-referenciação. Segundo (Mostafa, Mohamed, 2001) o núcleo de tecnologia Applanix consiste em algoritmos sofisticados e técnicas avançadas de processamento de sinal para a integração de GPS e dados de Unidade de Medida Inercial, com o propósito de navegação em tempo real e sistema de orientação e posicionamento para tratamento de dados recebidos.

Este sistema fornece a capacidade de relacionar directamente dados recebidos por um sistema de sensores remoto em relação à terra, medindo com precisão a posição geográfica e orientação do sensor implementado num determinado veículo.

O sistema APPLANIX é constituído pelos seguintes elementos, como se visualiza na figura 2:

- IMU;
- Receptor GPS;
- Sistema Computacional (PCS);
- Software de processamento de dados recebidos (POS).



Figura 2 – Sistema APPLANIX, retirada do seguinte documento (Mostafa, Hutton, Reid, & Hill, 2001)

O sistema dispõe da integração do software de navegação por inércia que é implementado em tempo real sobre o PCS usando software POS. Neste programa as medições GPS são utilizadas para auxiliar na solução de navegação por inércia produzida pela integração dos resultados do IMU para criar uma posição. A solução de orientação que mantém a dinâmica de precisão de navegação por inércia, mantém a absoluta precisão do GPS.

Unidade de medida Inercial (IMU)

A Caixa Inercial (IMU) - é constituída por três acelerómetros que medem as acelerações (transformadas em deslocações), segundo três eixos que formam entre si noventa graus (90°) e três giroscópios que medem os deslocamentos angulares em torno desses mesmos eixos.

“Os dados dos acelerómetros compensados e os dos giroscópios, dão outputs de saída como as velocidades e as taxas de incremento angular através de uma interface serial para o PCS, normalmente, em taxas de 200 a 1000Hz. O PCS, em seguida, integra as acelerações angulares e tarifas num chamado navegador inercial para produzir velocidade, posição e orientação do IMU referenciado à terra. Basicamente a montagem da IMU a um sensor remoto, significa que o navegador inercial produz velocidade, posição e orientação do próprio sensor.

Para garantir a máxima precisão, o IMU deve ser relativamente pequeno e leve, para que possa ser montado o mais próximo do sensor de referência (perspectiva central) quanto possível. Isto assegura que não há refluxo de dados entre a IMU e o sensor.

Para obtenção de dados de alta qualidade o IMU usa a força dos acelerómetros para reequilibrar e dos giroscópios de fibra óptica (FOG), Ring Laser Gyros (RLG), Dry Tuned giroscópios (DTG).

O IMU é uma unidade selada e não necessita de manutenção.” (Mostafa, Hutton, Reid, & Hill, 2001)

Receptor GPS

O sistema GPS é composto por uma constelação de satélites e um receptor remoto que utiliza as medições dos satélites e técnicas de triangulação para calcular a posição da antena do receptor. O GPS diferencial é uma técnica avançada que combina os dados da fase de dois receptores de forma a eliminar todos os erros significativos.

“Sistema computacional (PCS)”

O PCS contém o receptor GPS, é um sistema de armazenamento de massa, que grava dado num disco removível flash PC Card e um computador que executa o software de navegação em tempo real.

Software POS de pós-processamento

O software POS de pós-processamento é utilizado para calcular uma solução óptima navegação inercial integrada por transformação da IMU e dados GPS recolhidos a partir do POS, junto com o GPS observáveis e registados através de um receptor da estação base.

A componente chave do sistema POS é o software integrado de navegação por inércia (IIN). Este software é executado em tempo real sobre o PCS e no pós-processamento de software POS, realiza a integração dos dados da IMU com os dados do receptor GPS. A arquitectura funcional do software é dada de acordo com a figura 3. O software é composto dos seguintes componentes:

1. Navegador inercial;
2. Filtro de Kalman;
3. Circuito fechado controlador de erro;
4. Smoother (POSPac apenas);
5. Controlador de erro (POSPac apenas);
6. Alinhamento.” (Mostafa, Hutton, Reid, & Hill, 2001)

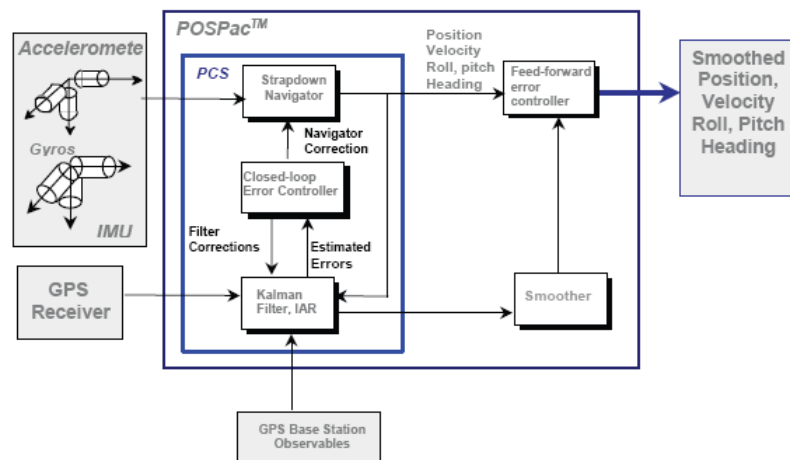


Figura 3 – Arquitectura funcional do software do VIV 02 EM 120, retirada do seguinte documento (Mostafa, Hutton, Reid, & Hill, 2001)

Encoder

Sistema de medição óptica calibrada. É um equipamento de medição de distância pelo veículo através da contabilização do número de rotações e do perímetro de um dos rodados.

OGMS

OGMS é um equipamento laser/óptico de medição da bitola. Mede a distância que vai desde a projecção, sobre o plano onde a bitola é medida (paralelo e a 15 mm abaixo da mesa de rolamento) e do centro do eixo bogie traseiro a cada um dos carris. Este sistema está integrado com o IMU e fornece a posição do ponto do carril onde a bitola é medida.

OGMS é um sistema de medição a laser, que mede o deslocamento de cada carril ao centro do IMU. Quando combinado com os dados de posicionamento, o sistema OGMS prevê a localização de cada carril, permite o cálculo do alinhamento preciso. Razão pela qual se este equipamento em caso de não estar 100% operacional, a medição de todos os outros parâmetros é afectada e inutilizada.

De modo sucinto a medição da geometria de via através do conjunto de sistemas enunciados anteriormente permite a medição rigorosa e fiável da via sob condições de carga, ou seja, condições que simulam as solicitações reais que ocorrem sobre a via em condições normais de exploração.

O sistema desenvolvido pela Applanix com auxílio da Plasser American Corporation, que integra o sistema na produção de veículos autopropulsionados, como é caso do VIV02 EM 120 em Portugal, permite que este sistema sem contacto com a via, faça a medição dos parâmetros geométricos como a bitola, empeno, nivelamento transversal, nivelamento longitudinal (direito e esquerdo) e alinhamento (direito e esquerdo).

O produto final é traduzido em gráficos de acordo com a quilometragem medida pelo (Encoder). Existem linhas paralelas nos gráficos que definem corredores com tolerâncias de acordo com cada parâmetro.

Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

O conjunto de dados durante alguns anos era impresso no veículo (VIV02 EM 120), no entanto hoje em dia é armazenado num disco rígido, no qual é possível aceder ao seu conteúdo através de um sistema de armazenamento com ligação USB.

O intervalo de leitura dos dados pode ser ajustado consoante a sua necessidade. Normalmente e por definição faz a medição a cada 25 centímetros. A velocidade do veículo interfere com a medição dos parâmetros, ou seja, é necessário assegurar uma velocidade mínima de 18 km/h para que não ocorram problemas de medição, devido ao funcionamento dos algoritmos da caixa inercial.

A “Figura 4” mostra a instalação do hardware num veículo de geometria da via.



Figura 4 – POS instalação de hardware: instalação OGMS (à esquerda) e Instalação IMU (à direita). Retirada do seguinte documento (Mostafa, Hutton, Reid, & Hill, 2001)

Seguidamente é apresentada na figura 5, a disposição dos sistemas de medição dos parâmetros geométricos no interior do VIV02 EM 120.

1. Geo-Radar
2. Placas de Rede
3. Videografia
4. Applanix
5. EM1
6. Bitola;
7. Desgaste Ondulatório
8. OGMS
9. Monitor (Perfis Transversais)
10. Teclado
11. Laser Catenária
12. KLD
13. Multicom
14. Tomadas



Figura 5 - Sistema de medição dos parâmetros geométricos de via

Análise dos Métodos de Medição dos Parâmetros Geométricos de Via e Correlação entre os Dados Obtidos

2.1.4 Perfis Transversais da Via

O primeiro contacto com o VIV02 EM 120 foi na inspeção da via entre a estação de Setúbal e Pinhal Novo. Nesta deslocação foi possível verificar em funcionamento o sistema de monitorização de perfis transversais da via, Geo-Radar, sistema KLD e todo o sistema computacional no interior do veículo, de recolha de dados.

EM 120 dispõe de um equipamento que permite a medição dos perfis transversais da via, como se verifica na figura 6. Este equipamento é frequentemente utilizado no levantamento de túneis, estudos e alterações construtivas executadas em túneis, taludes, verificação de gabaris, análise de percurso para transportes especiais e levantamento de perfis de trincheiras e obras de arte. Os dados são recolhidos através de um sistema de laser – radar, equipamento que liberta um feixe de laser, ou raio que é reflectido no objecto. Fazendo a contagem do tempo entre a emissão e a captação do referido raio e conhecendo a velocidade de propagação do mesmo, é possível determinar a distância a que se encontra o objecto.

Os dados das distâncias medidas são processados em conjunto com o ângulo da unidade laser-radar. Este sistema permite recolher perfis transversais a cada 25 cm como se visualiza na figura 7, através de um ecrã de computador.



Figura 6 - Sistema de laser – radar integrado na traseira no veículo de inspeção EM-120

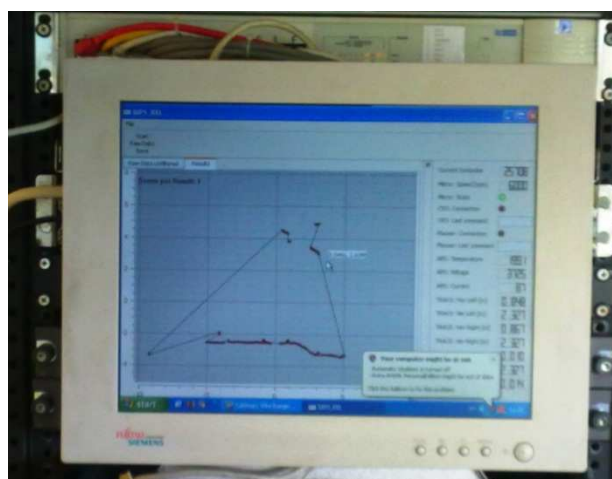


Figura 7 - Monitorização sobre leitura de perfis transversais

2.1.5 Medição do Perfil de Carris

Por meio do sistema KLD é feita a medição do perfil transversal do carril através de câmara de filmagem. O sistema foi concebido para que o perfil do carril seja medido desde a ligação alma/patilha até à superfície superior da cabeça.

Durante a medição é criada uma imagem vídeo do perfil transversal que por sua vez é comparada dimensionalmente com o perfil tipo. Ao efectuar a comparação, o levantamento de perfis dos carris permite diversos estudos e análises, nomeadamente, apoio ao planeamento das empreitadas de substituição de carris, planeamento de trabalhos de reperfilagem de carris, levantamento dos desgastes dos carris.

A análise de perfis é executada de 4 em 4 metros e através de um software específico cria-se a imagem que define o perfil actual e compara com o perfil executado na última medição. Deste modo obtém-se dados relativos à identificação do troço da via, data da análise. É fornecida a área (mm^2) e a percentagem de área da cabeça perdida.

Assim dispomos dos seguintes parâmetros:

- **Lip** – dimensão em mm do esmagamento da cabeça do carril;
- **Cant 1/20** - diferença em graus, entre o tombo real e o tombo projecto 1/20;
- **Height, Wear-Height** – altura e desgaste vertical do carril (mm);
- **Width, Wear-Width** – largura e desgaste lateral da cabeça do carril (em mm e medidos 15 mm abaixo da superfície de rolamento).

Todas estas análises conduzem à obtenção de gráficos de acordo com a figura 8, como ocorre com os parâmetros geométricos do carril.

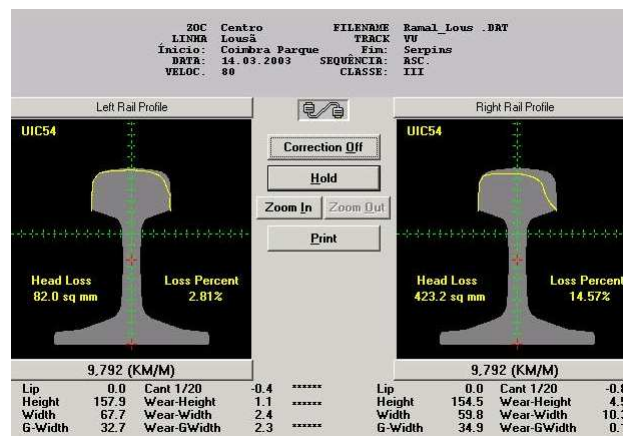


Figura 8 - Medição da Geometria do Carril, retirado do seguinte relatório (Pereira, 2003)

2.1.6 Geo-Radar

Durante uma deslocação no VIV02 EM 120 entre a Estação do Pinhal Novo e Setúbal além dos referidos sistemas de medição dos parâmetros geométricos da via, estavam a ser testados dois sistemas independentes. Um desses sistemas designa-se como GEO-RADAR e permite monitorizar as características do balastro tais como a humidade.

O modo de captar esta informação é feito através de três antenas como se pode ver na “Figura 9”. Esta informação é remetida para um sistema computacional como se regista na “Figura 10.”



Figura 9 – Três antenas do Geo-Radar localizadas no centro do chassis da EM 120



Figura 10 – Computador com o registo do Geo-Radar

2.1.7 Desgaste Ondulatório

Noutra deslocação à estação do Entroncamento foi possível verificar o modo de funcionamento do sistema de medição do desgaste ondulatório, e em simultâneo, foi testado pela primeira vez em Portugal um sistema de inspeção ultra sónica de carris.

O sistema de medição de desgaste ondulatório foi instalado no veículo de inspeção de infra-estrutura, EM-120, no final do passado mês de Maio. Com este sistema, a REFER passa a dispor de um novo conjunto de dados.

“Descrição técnica do Sistema:

O equipamento, designado por “COR-005”, fabricado pela Plasser América, está preparado para medir e analisar o desgaste ondulatório da mesa de rolamento de ambos os carris em diferentes gamas de comprimento de onda à velocidade máxima de 250 km/h. O princípio de medição do “COR-005” baseia-se no sistema de medição por cordas (pequena corda assimétrica) cujo rácio foi otimizado para que com uma distância de amostragem de 5mm, independente da velocidade de inspeção, seja obtida uma função de transferência ótima e representativa da superfície do carril medido.

Os sensores de medição estão montados em duas caixas (uma para cada carril) as quais se encontram fixas a uma estrutura existente num dos bogies do EM 120. De forma a garantir que todos os sensores de medição se encontrem paralelos ao plano de rolamento a estrutura que suporta todos os equipamentos de inspeção está fixo nas quatro caixas de eixo do bogie.

De modo a assegurar que os sensores se posicionam sempre sobre a mesa de rolamento de cada uma dos carris, cada uma das caixas move-se lateralmente em função do valor de cada uma das meias bitolas obtidas pelo sistema óptico de medição da bitola (OGMS) que está montado junto dos sensores de medição do desgaste ondulatório. O novo sistema está totalmente integrado com os restantes sistemas de inspeção instalados no EM 120.” Portal REFER, Consultado em Julho de 2011.

Futuramente, após a classificação de toda a rede, haverá um plano de esmerilagem de carril, que contribuirá para a optimização da Manutenção e para a melhoria da qualidade do serviço prestado aos operadores ferroviários.

Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

Durante a mesma deslocação, houve a oportunidade de assistir ao teste de um equipamento montado sobre uma plataforma com dois eixos, desenvolvido pela Sperry. Este equipamento destina-se a executar a inspeção ultra-sónica de carris.

Devido ao desconhecimento sobre o funcionamento do sistema, este foi testado na linha do Leste, a seguir à estação de Torre das Vargens, onde não existe catenária, e na qual o sistema de cantonamento é telefónico. Assim estava garantida a execução dos testes sem afectar a circulação diária ou qualquer sistema inerente à linha férrea.

Basicamente o equipamento dispõe de uma sonda rotativa de acoplamento que gera e emite impulsos fornecendo níveis elevados de poder de penetração ao longo do carril com uma excelente relação potência sinal/ruído. Deste modo existe um dispositivo semelhante a uma antena ligada a um computador que absorve a informação e transmite ao computador os dados. Este sistema permite verificar a ocorrência de fissuras internas no carril, pontos de descontinuidade, assim como o acumular de tensões ao longo das barras longas soldadas.

Estes novos equipamentos providenciam conjuntamente com os dados registados actualmente, um aumento significativo sobre o conhecimento do estado dos carris instalados na Rede Ferroviária Nacional.

Por outro lado devido às várias paragens executadas ao longo desta deslocação, foi possível inspeccionar devidamente o VIV02 EM 120, sobre o modo de medição dos parâmetros geométricos, bem como a localização dos vários sistemas ao longo da plataforma do VIV.

2.1.8 Os Parâmetros Geométricos de Via

São elementos intrínsecos à via-férrea, relativamente à qualidade da sua geometria. Constituída basicamente por um conjunto de travessas acopladas a carris por meios designados de fixações.

A descrição dos parâmetros geométricos de via tem por base o documento ITV 018

Análise de parâmetros geométricos: nivelamento longitudinal; bitola; empeno; nivelamento transversal; alinhamento.

Na figura 11, está representado o nivelamento longitudinal corresponde ao perfil longitudinal definido pela superfície de rolamento da cabeça do carril. Quando este parâmetro tem defeitos, surgem desvios altimétricos, perpendiculares ao plano de rolamento sobre o eixo do carril, entre a cota da face superior e a respectiva cota de referência.

“Corresponde ao desvio Z_p' na direcção Z, perpendicular ao plano de rolamento, em consecutivas posições, do eixo de cada carril, em relação a uma linha de referência paralela ao plano de rolamento, calculado em sucessivas medições.” (REFER,EPE - IT.VIA.018, 2009)

Sistema de medição actual: Baseia-se na leitura de acelerações através de um sistema simples entre uma determinada massa conhecida ligada a uma mola. As oscilações sofridas por este sistema são lidas e registadas permitindo medir nivelamentos longitudinais, verticais e alinhamentos. Como está devidamente explicado no funcionamento da caixa inercial. (Nivelamento Longitudinal 1/1) *

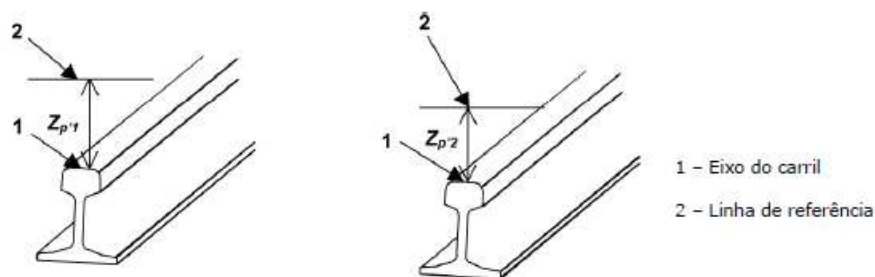


Figura 11 – Nivelamento Longitudinal, retirado da ITV 018 (REFER,EPE - IT.VIA.018, 2009)

Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

Bitola – é verificado o desgaste do carril através da medição pontual. A medição é executada num plano 15 mm abaixo do plano de rolamento, ou seja, segundo a Figura 12 à distância Z_p , abaixo do plano de rolamento, entre as faces de guiamento das cabeças dos carris. O sistema de medição está associado a um novo sistema designado por desgaste ondulatorio que funciona por servo motores.

Segundo o documento ITV 018, a medição não é verificada em zonas de curvas com sobrelargura, onde ao valor da tolerância será adicionada a sobrelargura de projecto, desde que a soma não exceda os limites de bitola pontual. (Bitola 1/1) *

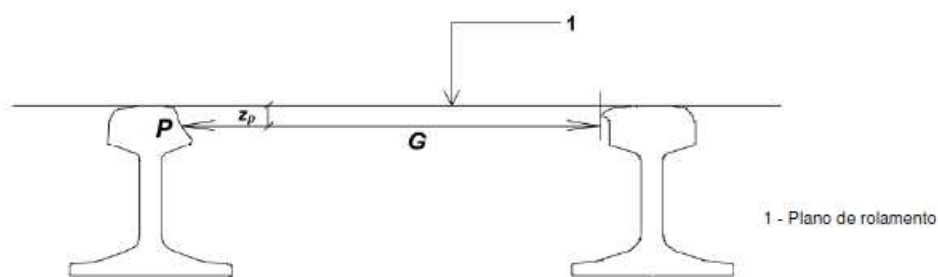


Figura 12 - Bitola, retirado da ITV 018 (REFER,EPE - IT.VIA.018, 2009)

A figura seguinte evidencia a zona onde é efectuada a leitura da bitola no EM 120.

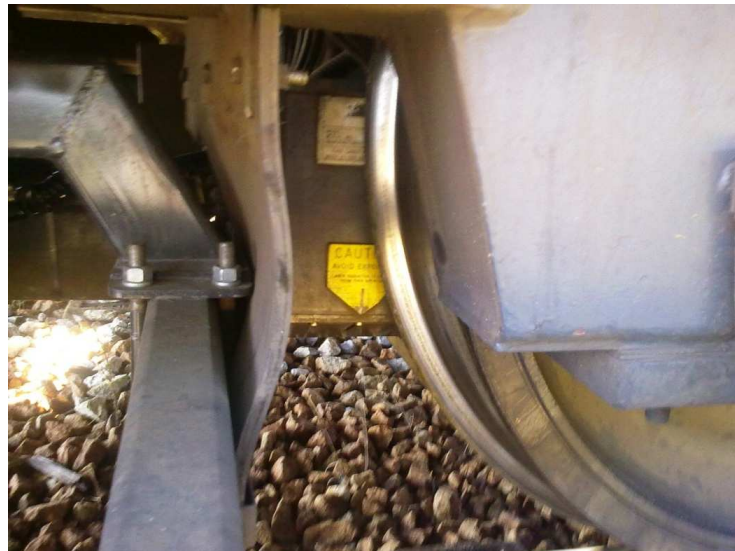


Figura 13 – Localização no VIV 02 EM 120 onde é efectuada a leitura de bitola

Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

Empeno representa-se de acordo com a figura 14 como a distância vertical de um dos pontos do plano formado pelos outros três (3), ou seja, um bogie de uma composição é composto por quatro (4) rodados, isto é, o plano de assentamento de 4 (quatro) rodados forma a mesa de rolamento dos carris (dois para cada carril), formando um rectângulo. Por outro lado em termos gerais será a diferença entre nivelamentos transversais numa determinada base de medição, entre duas secções (base de medição em Portugal corresponde a três metros). (Empeno 1/1) *

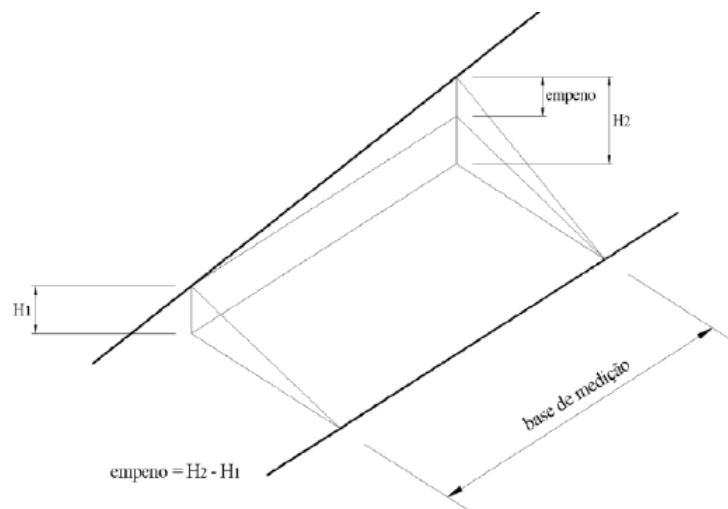


Figura 14 - Empeno, retirado da ITV 018 (REFER,EPE - IT.VIA.018, 2009)

Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

Nivelamento Transversal é um parâmetro geométrico em que a sua leitura é executada através de um inclinómetro, dois giroscópios e controladores electrónicos. Assim é feita a leitura da carroçaria do veículo de inspeção de via. O nivelamento transversal em alinhamento recto é nulo. Em curva de transição ou curva circular em relação ao seu valor, pode haver defeito de escala associado a um defeito de nivelamento transversal.

Este parâmetro de acordo com a figura 15, baseia-se na diferença em altura da mesa de rolamento de cada carril obtida pelo ângulo entre o plano de rolamento e o plano horizontal de referência. Deste modo obtemos um cateto e uma hipotenusa com as respectivas diferenças de alturas e distâncias entre os eixos dos carris respectivamente. (Nivelamento Transversal 1/2) *

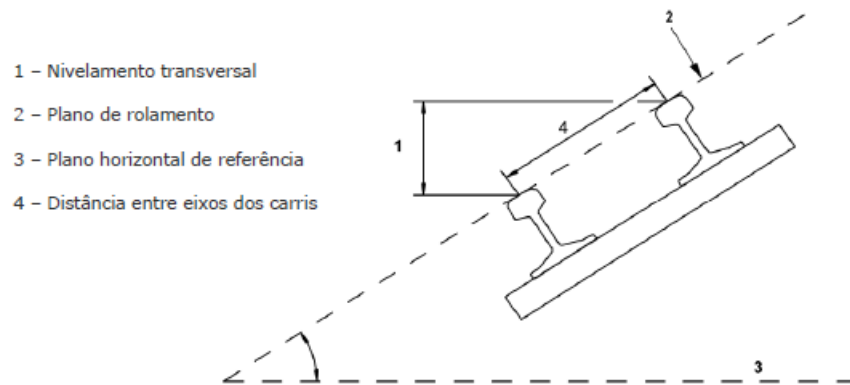


Figura 15 - Nivelamento Transversal, retirado da ITV 018 (REFER,EPE - IT.VIA.018, 2009)

Alinhamento das duas filas de carris é definido com base na flecha horizontal de cada carril. Corresponde assim ao perfil longitudinal definido pela superfície de rolamento da cabeça do carril, sendo determinado com base nas flechas horizontais, definido pelo esquema representado na figura 16.

O sistema inercial permite fazer medições e calcular flechas sucessivas como um desvio perpendicular à mesa de rolamento e comparada com determinada linha de referência. As medições são independentes entre carris, ou seja, de cada fila.

Desvio Y_p na direcção y , paralela ao plano de rolamento, em consecutivas posições, de P em cada carril, em relação a uma linha de referência intermédia, calculado em sucessivas medições.

O alinhamento é calculado em cada fila, a partir da respectiva posição horizontal e filtrado nas bandas de comprimentos de onda $D1$ e $D2$.

Sistema de medição actual: Baseia-se na leitura de acelerações através de um sistema simples entre uma determinada massa conhecida ligada a uma mola. As oscilações sofridas por este sistema são lidas e registadas permitindo medir nivelamentos longitudinais, verticais e alinhamentos. Como está devidamente explicado no funcionamento da caixa inercial. (Alinhamento 1/1) *

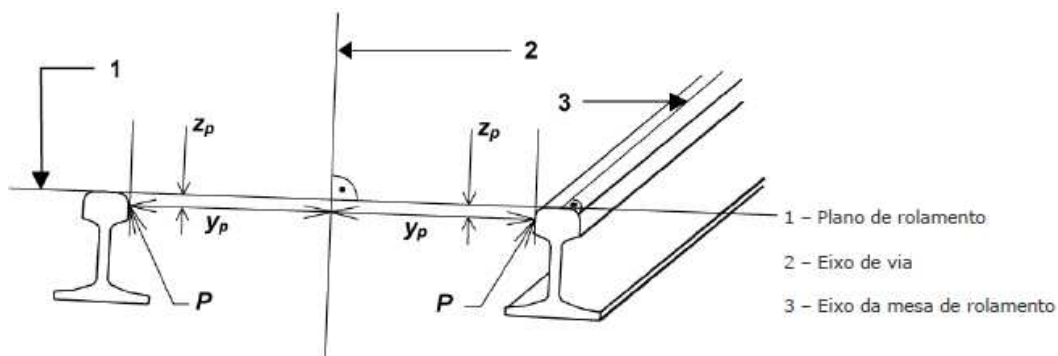


Figura 16 – Alinhamento, retirado da ITV 018 (REFER,EPE - IT.VIA.018, 2009)

* Escalas normalmente utilizadas nos outputs gráficos dos parâmetros geométricos recolhidos pelo VIV02 EM-120.

2.1.9 Output VIV 02 EM 120

Consta no Output a representação gráfica dos seguintes parâmetros geométricos:

- Nivelamento longitudinal das duas filas de carris numa escala de 1:1;
- Bitola, numa escala de 1:1;
- Empeno, numa escala de 1:1;
- Nivelamento Transversal, numa escala de 1:2;
- Curva, numa escala de 1:2;
- Alinhamento das duas filas de carris numa escala de 1:1.

O gráfico representado na figura 17, é um gráfico obtido pelo EM 120. Ao nível da informação dos parâmetros geométricos é idêntico ao gráfico produzido pelo equipamento Krab. Ambos têm por base o definido na ITV 018, nomeadamente no que diz respeito à forma de analisar os parâmetros.

Em trabalhos normais de inspeção, como é o caso do presente gráfico, são apresentados corredores que definem os valores impostos pelas tolerâncias de alerta.

Associado a cada parâmetro registado, está um determinado corredor. Esse corredor é composto por duas linhas paralelas a uma determinada distância em relação à linha média, definindo a tolerância de alerta, quer por defeito, quer por excesso. Somente no parâmetro nivelamento transversal não têm corredores de tolerâncias.

Segundo ITV 018, o valor definido pela tolerância está associado a uma determinada classe de acordo com a velocidade. Consoante aumenta a velocidade as tolerâncias são mais restritivas, com corredores mais apertados.

No caso do nivelamento transversal a indicação na ITV 018 refere o seguinte:

Nas curvas, a diferença entre o valor do nivelamento transversal e o seu valor de projecto não deverá exceder 20 mm.

Relativamente à linha que visualmente define o valor de tolerância zero, está poderá ter duas interpretações. No caso da bitola, empeno e nivelamento transversal são parâmetros que se representam em valor absoluto e a sua análise é absoluta. Então a linha que define tolerância zero representa o valor de parâmetro geométrico referência e tolerância zero, ou inexistência de defeito.

Os parâmetros referidos devem ser mantidos de acordo com os valores de projecto, respeitando as tolerâncias, ao longo da exploração da rede ferroviária. No caso do alinhamento e nivelamento longitudinal a sua representação é feita em valor relativo,

Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

mas a sua análise é absoluta. Isto significa que ocorre um rebatimento de valores em torno de uma linha média corresponde ao valor médio, determinado através do tratamento dos dados medidos que melhor traduza a sua tendência. Assim se determinar a amplitude desde o valor médio ao valor máximo, associado ao desvio do parâmetro.

A linha que define tolerância zero não indica que o parâmetro seja igual a zero.

Ao longo da exploração estes parâmetros geométricos não se mantêm inalterados em relação ao valor de projecto. Consoante trabalhos de manutenção e correcção do traçado são alterados de modo a melhorar o traçado, permitindo um aumento de velocidade de exploração da via, mantendo padrões elevadas de segurança ferroviária. Já foi referido o facto de não existir corredor de tolerância para o parâmetro nivelamento transversal, no entanto nem todos os outros parâmetros dispõe de corredores com as mesmas características. O corredor da bitola é o único que não é simétrico, isto deve-se ao facto do defeito de aperto de bitola ser mais gravoso do que um defeito de excesso de bitola. Deste modo o corredor que define o defeito de bitola por aperto é mais restritivo.

Nos parâmetros nivelamento longitudinal, alinhamento e empeno os corredores são simétricos.

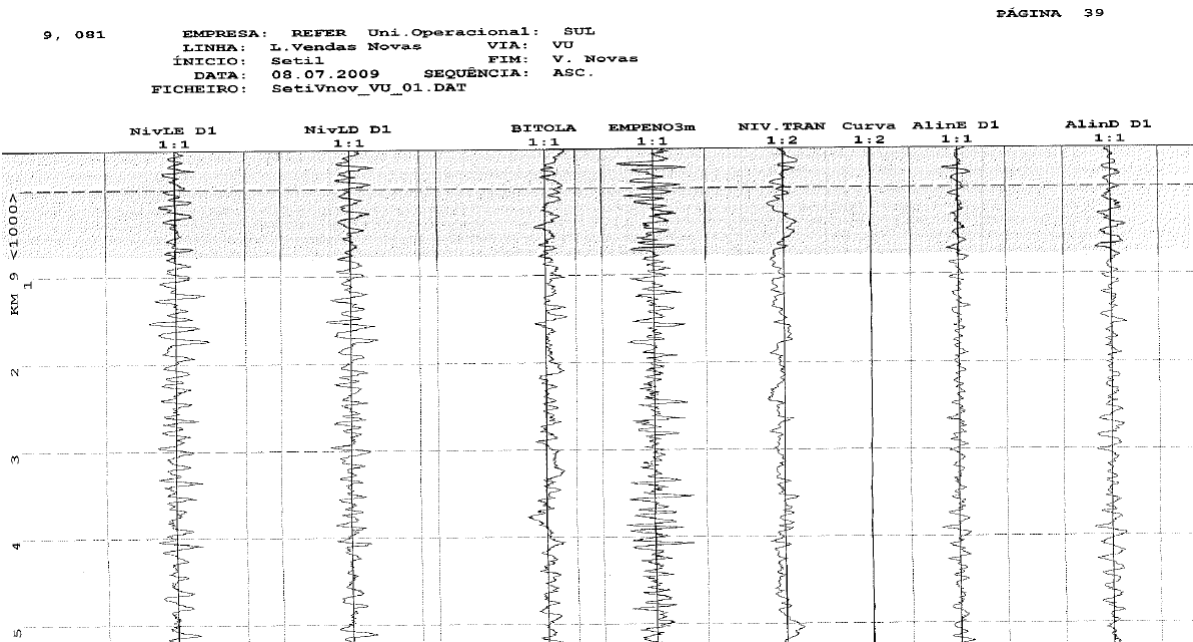


Figura 17 - Parâmetros Geométricos após análise do software específico do VIV02 EM 120

2.2 Krab Light – 11/2008 - Auscultador de Geometria de Via

A descrição do equipamento deve-se ao acompanhamento do mesmo em determinados trabalhos de análise/inspeção de via. Como será analisado nos subcapítulos do Resultado e Discussão, os dados provenientes, recolhidos por este equipamento serão comparados com os dados do VIV02 EM 120. De outra forma este será o tema principal deste trabalho, ou seja, perceber e verificar até que ponto é possível comparar os valores recolhidos e registados por equipamentos completamente distintos.

O Trólei da marca Krab Light é um equipamento de inspeção de via que permite verificar o estado da via a nível dos seus parâmetros geométricos.

É um equipamento com cerca de 35 kg, que é movido por um operador que pode empurrar ou puxar o equipamento ao longo da via. A velocidade de medição está assim dependente da velocidade de andamento do operador e estima-se em média que a sua velocidade de operação seja cerca de 7 km/h.

As suas características permitem-lhe medir em plena via, alinhamentos rectos, curvas de transição e curvas circulares.

Não opera em AMV devido a não medir cotas de protecção e de passagem. A sua passagem em AMV só é possível com as manetes, que travam o mecanismo de alargamento da bitola. As medições nas cróssimas são registadas, no entanto são falsas.

As suas valências permitem-lhe medir alinhamentos, nivelamentos longitudinais, empeno mecânico, nivelamento transversal e bitola.

Assim os parâmetros geométricos são medidos na fila alta, segundo as tradicionais duas semi-cordas de 1,0 e 1,1 metros de comprimento, com base no método das flechas.

Este equipamento foi desenvolvido na República Checa, e conseqüentemente, deve ser alvo de manutenção de dois em dois anos, procedendo-se igualmente ao ajustamento de componentes.

Relativamente aos modos de operação o Krab Light permite operar de 4 formas.

Como foi enunciado anteriormente pode ser empurrado ou puxado pelo operador. Não obstante disso deve-se ter em conta se o sentido da via, ascendente ou descendente em relação à quilometragem.

Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

O equipamento dispõe de um computador de bordo de recolha dos dados que tem integrado um GPS. O Computador de bordo tem memória suficiente para pelo menos 200 km de extensão ao longo do processo de medição. A sua bateria funciona 6 horas sem necessidade de ser carregada. Além disto, equipamento tem bitola ajustável nas seguintes opções (1000 - 1435 - 1668 milímetros).

A recolha de dados sobre carril direito e esquerdo não é feita ao mesmo tempo, devido ao equipamento recolher informação relativa ao alinhamento e nivelamento longitudinal sobre a lateral onde estão colocadas cordas assimétricas de 1,1 e 1,0 metros. Assim são efectuados testes de reprodutibilidade, em ambos os sentidos, de acordo com ambas as orientações de trabalho do equipamento. Depois os dados são comparados e corrigidos internamente, concluído a apreciação da via.

Depois da recolha dos dados existe um software específico onde são carregados os dados que permite fazer a conversão dos dados recolhidos segundo as semi-cordas de 1.0 e 1.1 metros respectivamente do Trólei Krab Light, de acordo com os dados produzidos pelo VIV02 EM 120.

Seguidamente descreve-se detalhadamente o equipamento Krab Light usado.

A figura seguinte corresponde ao equipamento de inspeção de via, Krab Light

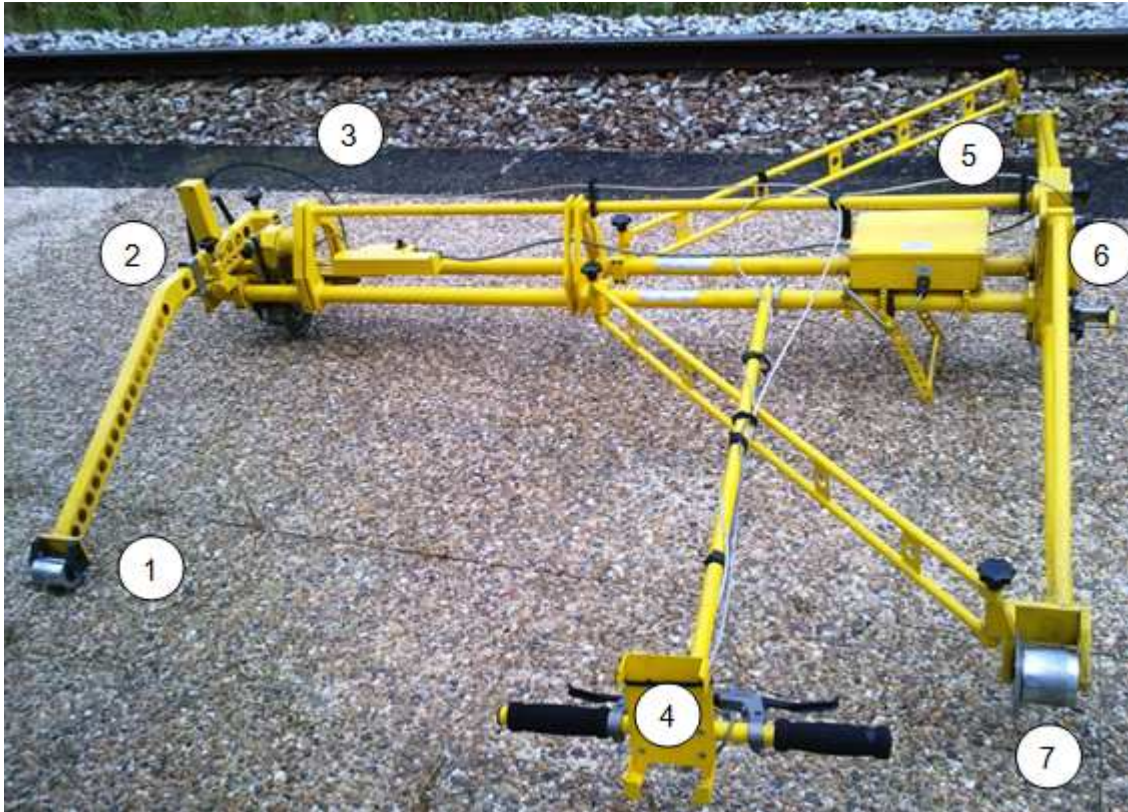


Figura 18 – Krab Light

1. Rodado que permite recolher informações sobre empeno mecânico;
2. Dispositivo acoplado a uma mola que mantém o rodado com verdugo sempre encostado à cabeça do carril;
3. Medidor de distâncias (odómetro) como o Encoder no VIV 02 EM 120;
4. Guiador com manetes de bloqueio de abertura dos rodados e suporte para GPS idêntico ao dispositivo da figura 19;
5. Caixa que mede deslocamentos mecânicos e transforma em eléctricos;
6. Inclinómetro;
7. Conjunto de dois rodados com verdugo sobre a fila direita.



Figura 19 – Computador de Bordo com GPS

Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

O equipamento tem um bogie triangular rígido feito de tubos de duralumínio. As rodas são isoladas electricamente devido ao rolo com eixo vertical. O contacto permanente dos rolos e o rolamento de borda é possível devido ao seu ajustamento através de molas, como se visualiza na figura 20. Um aparelho especial com dois graus de liberdade permite o livre transporte, pois está na parte central. Faz a varredura da via verticalmente e lateralmente ao longo de um carril.



Figura 20 – Rodas do Krab e roletes de cabeça de carril

O equipamento divide-se em quatro peças para fácil transporte (parte lateral, duas partes do feixe longitudinal e braço de empeno mecânico). O tratamento da superfície da roda é executado em crómio duro. O equipamento tem um acabamento superficial em tinta amarela. O mecanismo de travagem é controlado por corda & Bowden e duas alavancas empurram o equipamento de vara quando passam por um aparelho de mudança de via.

Princípio de medição segundo KZV – Track Geometry Measuring Devices,2007

Os valores são analisados em 0,25 m de espaço de intervalo:

- Bitola (transdutor potenciómetro na roda esquerda);
- Alinhamento (rodado lateral) direito;
- Nivelamento longitudinal (rodado vertical) rodado direito;
- Escala (inclinómetro preciso e fiável);
- Empeno com base de 0.9 m de empeno base (opção que reforça a precisão da medição escala final);
- Inclinação da via (rodado direito);
- Controlo de distância (codificador odométrico-óptico).

Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

A precisão dos valores de geometria comunicados é a seguinte com base na tabela 1:

Tabela 1 – Quantificação da geometria de via pelo auscultador de via Krab Light, retirada da seguinte fonte (KZV, 2007)

Geometria de Via Quantificada, a ser medida	Resolução	Reprodutibilidade de 95 % [mm]	Via [mm]
Alinhamento Vertical (comprimento de onda 1 - 25 m)	0.1 mm	±0.7	-15 / +12
Alinhamento Horizontal (comprimento de onda 1 - 25 m)	0.1 mm	±1.0	±25
Bitola	0.1 mm	±0.5	-15 / 40
Mudança de Bitola por metro	0.1 mm	±0.5	-
Escala (valor relativo para o cálculo do empeno)	0.1 mm	±0.7	-
Escala (valor absoluto)	0.1 mm	±1.2	±180
Empeno (de acordo com base de empeno)	0.2 mm	±0.7/l	±13
Distância de via medida	0.1 mm	1 %	Sem limites

Computador de bordo

A figura 21, representa o ecrã inicial com quilómetro de inicio de medição, o valor da bitola padrão e descrição do local.

“O processamento em tempo real dos sinais dos sensores é realizado pela on-board PDA robusto computador Itronix GoBook Q200 (WindowsCE.NET), onde os seguintes itens são necessários:

- Leitura e digitalização de sinais de dados acima;
- Processamento on-line dos sinais:
- Anti-alinhamento;
- Nivelamento de parte da onda longa;
- Ópticos e acústicos de sinalização, quando os dados de geometria exceder os limiares seleccionáveis;
- Indicação dos valores numéricos dos dados de geometria;
- Entrada dos dados de geometria em armazenamento do computador de bordo em a 0,25 m de distância. A distância de medição é 30-120 km (dependendo 2 ÷ quantidade de memória de 8MB);
- Entrada da descrição informativo do troço de via a ser medido;
- Entrada de eventos chamados (travessas danificadas, passagens superiores, inferiores e de nível, etc.), com localização da posição exacta, através da distância.” (KZV, 2007)

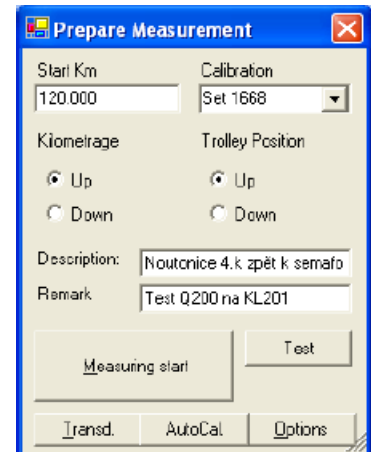


Figura 21 – Monitor de inicio de medição, retira da seguinte fonte (KZV, 2007)

Avaliação dos dados recolhidos pelo software KRAB 6.12/7.00

Segundo o Manual de Uso sobre o Programa de Avaliação do Krab Light, Prosutec, após a medição, os dados primários são transferidas do computador de bordo Q200 para outro computador, onde podem ser tratados com o devido software específico. Sofisticadas avaliações de software calculam a geometria real (com unidade de função de transferência) na banda $\lambda = 1/25\text{m}$ via FFT (Fast Fourier Transformação), ou seja, o software de modificação dos dados primários recolhidos “in situ”, funciona através de um algoritmo que tem por base uma transformada de Fourier. Através deste modelo de cálculo os dados são transformados, de valores absolutos para valores com base relativa.

“Assim, os itens que se seguem são disponíveis:

- Alinhamento e nivelamento longitudinal em comprimento de onda $\lambda = 1/25\text{m}$;
- Separação de todos os sinais geométricos em ondas longas ($\lambda > 25\text{m}$) e ondas curtas ($\lambda < 25\text{m}$);
- Avaliação de secção - a avaliação estatística da geometria da via com base no desvio padrão e índice de qualidade;
- Tabela de defeitos locais, disposição geométrica.” (PROSUTEC)

Na figura seguinte está representado os gráficos associados às leituras dos vários parâmetros geométricos da via. Associado à programação do Krab Light existe informação mais extensa no anexo B, referente ao manual de uso do equipamento.

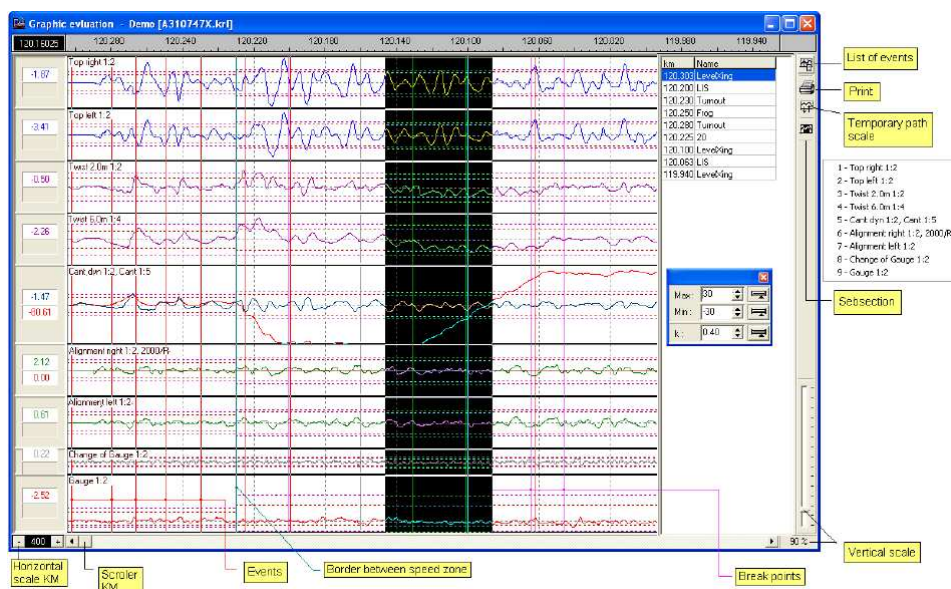


Figura 22 – Avaliação de gráficos de geometria da via, retirada seguinte do manual (PROSUTEC)

Os dados técnicos do equipamento Krab Light:

34 Kg forma básica; 2 Kg de torção do braço auxiliar; 20 horas sem a carga da bateria; Temperatura de trabalho: $-5 \div 55$ ° C.

Simplificadamente este equipamento dispõe de características completamente diferentes de recolha de dados em relação ao VIV02 EM-120. Na generalidade o modo de inspeção baseia-se no sistema por cordas através da medição de flechas.

Como foi referido na descrição da “Figura 18”, o princípio de medição do sistema, baseia-se na recolha de dados, executada sobre o lado onde se encontra a caixa de medição dos deslocamentos mecânicos. O lado direito e esquerdo do equipamento de acordo com óptica do utilizador mantêm-se, no entanto em medição existem uma variável que pode modificar a interpretação do carril esquerdo e direito. Se o utilizador empurrar ou puxar o aparelho segundo uma via com quilometragem ascendente o lado direito e esquerdo do utilizador correspondem ao do equipamento. Se a quilometragem for descendente o princípio de medição altera-se, ou seja, o lado esquerdo do utilizador corresponde ao lado direito do equipamento. Assim garante-se ao longo do processo de medição os valores registados correspondem sempre ao mesmo carril. Este facto deve-se à medição das flechas ocorrer sobre o lado onde está alojada a caixa de medição dos deslocamentos. Assim se coloca a questão sobre como é possível identificar ou executar a medição do outro carril. Não é executada. O que acontece para identificar as características do outro carril, tem a ver com relações entre parâmetros geométricos (primários, em valor absoluto).

O alinhamento de um carril é conhecido através da determinação da flecha entre pontos conhecidos. Para chegarmos ao alinhamento do outro carril, basta conhecer o valor da bitola, no caso em que os defeitos geométricos de alinhamento são iguais ou não existem defeitos. No caso do defeito de alinhamento for por excesso, se a bitola medida for inferior (valor padrão, 1668 mm), então a flecha aumenta, logo o defeito de alinhamento no outro carril também é maior. Se a bitola medida for maior, a flecha é menor e o defeito de alinhamento também será menor.

No caso do nivelamento longitudinal num carril é acrescido ou reduzido no valor do nivelamento transversal, de acordo com o método das flechas. Se nivelamento transversal for igual a zero num ponto, significa em caso de defeito de nivelamento longitudinal, é igual no carril esquerdo e direito, ou caso seja igual ao valor de projecto.

2.3 Vantagens que Decorrem da Utilização do Trólei como Equipamento Ligeiro

Para manter a via-férrea em bom estado, para que os passageiros possam viajar nas melhores condições de segurança e conforto é necessária uma vigilância contínua à infra e superestrutura ferroviária e ao material circulante que permita não só a sua conservação e durabilidade, como intervenções rápidas e no momento indicado de modo a que as acções tenham o menor custo possível, associado somente à manutenção de determinados elementos e só em último caso ser necessário a sua substituição devido a apresentarem desgaste de tal ordem que não seja possível serem intervencionados.

Neste caso pode haver dois critérios: por um lado o material pode estar de tal forma deteriorado devido ao término do seu tempo de vida útil. Por outro lado, como factor negativo, o material apesar de ser recente apresenta desgaste de tal forma que a única solução é a sua substituição. Neste ultimo caso significa que o processo de inspecção não actuou em tempo útil levando a custos acrescidos.

O serviço de inspecção de via através do Trólei e do VIV02 EM 120, permite a medição geométrica da via, que consiste no levantamento geométrico dos parâmetros a conservar numa via-férrea, para que esteja sempre salvaguardada a segurança e o conforto dos passageiros.

As vantagens desta actividade incidem, essencialmente, no diagnóstico de possíveis anomalias, ou seja, “Manutenção por Diagnóstico”. Este serviço permite planear intervenções de carácter correctivo, em tempo útil. Assim é possível rentabilizar as infra-estruturas, bem como aumentar o ciclo de vida da via e dos diversos aparelhos que a constituem.

Os defeitos na infra-estrutura numa primeira fase causam desconforto, ruído, oscilações que progressivamente colocam em causa a segurança, podendo mesmo provocar descarrilamentos. O mesmo se passa nos aparelhos de via onde, na maior parte das vezes, a falta de diagnóstico e de controlo geométrico dá origem a descarrilamentos. Por outro lado, e de um ponto de vista económico, não é só a via-férrea que sai lesada, dado que os defeitos na via se reflectem nos custos da manutenção do material circulante. Como sabemos, uma intervenção de fundo numa via-férrea é muito dispendiosa e acima de tudo tem um impacto negativo para os utentes deste tipo de transportes.

Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

A análise dos dados recolhidos no terreno é efectuada por um software específico que compila os dados recolhidos na via, trata-os e emite relatórios. Nestes relatórios são evidenciadas as anomalias, de uma forma rápida, uma vez que os dados são apresentados sob a forma de gráficos.

Através de software específico os dados recolhidos, são tratados. Devido à recolha de dados em ambos os sentidos, no caso do VIV02 EM 120 e ao processo usado no Krab Light, de acordo com a EN 13848, os dados recolhidos são comparados de modo a representarem com rigor e fiabilidade da geometria da via analisada.

O facto do Krab Light não aplicar carga dinâmica, assim como a velocidade reduzida de inspeção/análise à via, são factores que após verificados e comparados os resultados entre ambos (equipamento e veículo) podem afectar a medição do defeito de geometria registada.

O que posso referir perante indicações dos técnicos que operam tanto com o Krab Light, assim como o VIV 02 EM 120, é que no caso do parâmetro bitola existem determinados problemas ou defeitos da infra-estrutura que não são possíveis de detectar com a via sem carga, ou seja, com o equipamento Krab Light. Obviamente que esta análise será aprofundada no capítulo dos resultados e discussão, assim como a comparação entre todos os parâmetros de via analisados.

O aparecimento deste tipo de equipamento surge face às suas capacidades de determinar o estado da superestrutura e recolher informação relativa a sua geometria, as quais não são totalmente conhecidas ou até mesmo comparadas com as medições executadas pelo VIV02 EM 120. O Krab Light comparativamente ao EM 120 tem um custo de aquisição bastante inferior e permite em Portugal executar inspeções e análises sobre a via estreita com bitola padrão de 1000 mm. Isto deve-se à sua versatilidade e rapidez de montagem e adaptação a vários tipos de bitola (1000, 1435 e 1668 mm), sendo um equipamento bastante útil uma vez que este tipo de superestrutura com bitola de 1000 mm era inspeccionado até à aquisição do Krab Light com uma simples régua e fio de nylon.

Como vantagens do uso do Krab Light apontam-se o facto de ser um equipamento versátil, de fácil mobilização e montagem, além de permitir comparações com dados rigorosos e fiáveis recolhidos pelo EM 120. Constitui assim uma alternativa ao EM 120 que para se deslocar entre pontos provoca alguns constrangimentos na exploração da infra-estrutura, uma vez que, se desloca sobre a mesma. Como desvantagem principal tem a ver com o facto de recolher dados somente em plena via.

Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

O levantamento geométrico dos parâmetros da via permite à REFER controlar o estado da via-férrea, avaliar as condições de exploração e os condicionalismos à circulação dos veículos. Nas redes de transportes ferroviários, onde é fundamental garantir aos passageiros rapidez e frequência de passagem de veículos, o bom estado de conservação da via é essencial, pelo que é necessário garantir a geometria da via dentro de valores aceitáveis para as quais foi projectada. As anomalias que obriguem à redução de velocidade ou que provoquem desconforto, são perfeitamente diagnosticadas aquando da intervenção do Krab Light.

Estes novos equipamentos em conjunto com os dados registados actualmente proporcionam um aumento sobre o conhecimento do estado dos carris ao longo da Rede Ferroviária Nacional.

Sendo um veículo de inspeção de via, dispõe de um plano anual de inspeção/análise ao longo da Rede Ferroviária Nacional. As indicações que servem de base a esse plano são descritas seguidamente.

A frequência de inspeção deve ser feita pelo menos uma vez por ano. No entanto executa duas inspeções anuais a toda a rede e inspeções trimestrais à Linha do Norte. Em pontos singulares como é o caso de AMV deve haver uma periodicidade do controlo geométrico através de 2 a 3 medições por ano consoante a sua utilização. As inspeções globalmente devem ser executadas de acordo com as características e especificidades de cada rede/troço, tendo em conta o tipo de veículos que nela circulam, frequência, tipo de infra-estrutura.

O ciclo de vida útil do carril está directamente relacionado com o desgaste, defeitos, deformações e fadigas mecânicas a que este está sujeito. Um diagnóstico, em tempo útil, possibilita ao Operador de Transportes um conhecimento mais aprofundado da evolução do estado da via, permitindo intervir de uma forma ligeira, para efectuar correcções, evitando que as anomalias tomem proporções irremediáveis.

Em último caso, a solução será a substituição total ou parcial dos carris. A intervenção ao nível da inspeção de via permite, por exemplo, controlar o desgaste lateral provocado pelo trabalho do verdugo da roda no carril, se este for controlado numa fase inicial sendo possível recarregar o carril evitando, desta forma, a sua substituição.

2.4 Tolerâncias

O modo de classificar os gráficos provenientes do VIV 02 EM 120 ou dados numéricos e gráficos associados ao Krab light, segundo a ITV 018, as tolerâncias para os parâmetros geométricos são definidos por níveis. Existem três tipos de Tolerâncias: Tolerância de Alerta; Tolerância de Intervenção e Tolerância de Acção Imediata.

“Tolerância de Alerta – valor do parâmetro geométrico que, quando atingido, originará que o troço em questão seja incluído na programação de trabalhos de manutenção.

Tolerância de Intervenção – valor do parâmetro geométrico que, quando atingido, originará que o troço em questão seja a curto prazo alvo de acções de manutenção para que a tolerância de acção imediata não seja atingida.

Tolerância de Acção Imediata – valor do parâmetro geométrico que nunca deverá ser atingida. Caso o seja obrigará que o defeito em questão seja alvo de correcção imediata ou que o respectivo troço seja sujeito a redução de velocidade ou interdição.”
(REFER,EPE - IT.VIA.018, 2009)

No anexo C são apresentadas as tabelas com as Tolerâncias para linhas de bitola 1668 e 1435 mm, respeitantes às Tolerâncias de Alerta.

2.5 Índices de Qualidade

2.5.1 Desvio Padrão

Associado às tolerâncias surge um parâmetro que permite atribuir classificação aos troços onde é executado o processo de inspeção/análise. Este conceito está implementado desde a homologação deste critério a nível Europeu. Após a aprovação da instrução técnica 018, em Portugal pela REFER o conceito sobre o índice de qualidade surge através do desvio padrão, melhorando o modo como é atribuída determinada classificação a determinado troço de via-férrea.

Em termos matemáticos, o desvio padrão é a medida mais comum da dispersão estatística. O desvio padrão define-se como a raiz quadrada da variância. É definido de maneira a dar-nos uma medida da dispersão que:

- Seja um número não-negativo;
- Use as mesmas unidades de medida que os dados tratados.

Desvio padrão amostral

Se uma variável aleatória X toma os valores x_1, \dots, x_n , então o desvio padrão para esta amostra de n números (ou desvio padrão amostral) pode ser calculado da seguinte forma. Primeiro calcula-se a **média** de X , \bar{x} , através da seguinte fórmula [1]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad [1]$$

Depois, o **desvio padrão amostral** é calculado pela fórmula [2]:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad [2]$$

A divisão por $n - 1$ aparece quando exigimos que a variância amostral s^2 seja um estimador não tendencioso da variância populacional σ^2 .

Se $s = 0$, então não existe variabilidade, isto é, os dados são todos iguais.

Em seguida apresenta-se o gráfico representativo da distribuição normal segundo a figura 23.

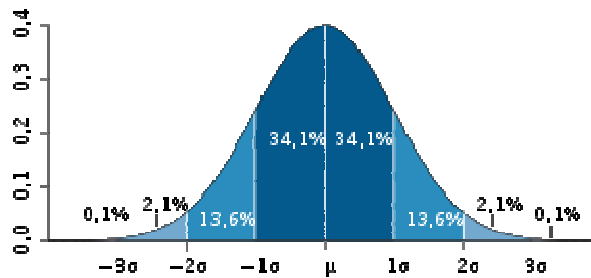


Figura 23 – Propriedades do gráfico de distribuição normal

De uma distribuição normal uni modal, gaussiana, simétrica, de afunilamento médio pode-se dizer o seguinte:

- 68% dos valores encontram-se a uma distância da média inferior a um desvio padrão;
- 95% dos valores encontram-se a uma distância da média inferior a duas vezes o desvio padrão;
- 99,7% dos valores encontram-se a uma distância da média inferior a três vezes o desvio padrão. Esta informação é conhecida como a regra dos "68-95-99,7".

“O desvio padrão é uma medida de dispersão usada com a média. Mede a variabilidade dos valores à volta da média. O valor mínimo do desvio padrão é zero indicando que não há variabilidade, ou seja, que todos os valores são iguais à média.” (Baldeiras, 2011)

Parâmetros: NivLE D1; NivLD D1; Bitola Empeno; Niv. Transversal; Curva; AlinE D1; AlinD D1.

Deste modo através do desvio padrão como medida de quantificar os desvios dos parâmetros geométricos é calculado o índice de qualidade de via. Esse índice de qualidade de via tem dimensão, sendo quantificado em milímetros.

2.5.2 Índice de Qualidade - TQI

De acordo com a inspeção/análise executada pelo EM 120, está associado uma avaliação da rede ferroviária. Essa avaliação consiste na análise dos gráficos dos parâmetros geométricos de via, listagens de defeitos e índice de qualidade da geometria de via (TQI – Track Quality Index). A análise destes elementos é executada por responsáveis pela conservação da via, de acordo com a Zona Operacional respeitante aos vários eixos e das Equipas de Projecto, de modo a que os defeitos geométricos possam ser corrigidos.

O cálculo do índice de qualidade da geometria de via, com base nos registos geométricos da via feitos pelo EM 120 é executado consoante uma determinada metodologia. Essa metodologia inicia-se com os defeitos de geometria de via que por seu turno causam variações na aceleração.

Actualmente o TQI é contínuo na sua utilização, no entanto no que se refere ao modo como deve intervir ao longo da rede ferroviária, o índice de qualidade utilizado é o desvio padrão. Este índice surge de acordo com um novo modelo Europeu, que está devidamente normalizado. Através deste modelo é possível fazer analogias entre a nossa rede e a rede Europeia. O TQI continua a ter expressão para o cálculo da taxa de utilização sobre a via-férrea. Esta mudança ocorre com a remodelação dos métodos de medição pelo veículo de inspeção de via, de modo a otimizar o modo a caracterizar a qualidade da geometria de via. Actualmente o modo de classificação da geometria de via é feito através do desvio padrão. Seguidamente será definido o modo de análise da geometria de via com base no TQI.

Associadas às variações de aceleração estão forças dinâmicas que têm a sua componente no centro de gravidade dos veículos, responsáveis pela mudança de posição da secção transversal entre troços consecutivos. Como consequência afectam os passageiros que nas composições circulam criando um efeito indesejado, ou seja, de incomodidade. Na origem da variação de aceleração estão incluídos dois factores: velocidade de circulação e defeitos geométricos.

Assim se estabelece o índice associado às velocidades praticadas em cada troço/secção de via e aos defeitos geométricos existentes nos mesmos, analisados pela inspeção do veículo EM-120.

2.5.2.1 Dedução do Índice de Qualidade

A partir do momento em que ao longo de uma viagem diminui o nível de conforto, proporcionalmente ocorre um aumento do nível de incomodidade. Os veículos devido às acelerações verticais e horizontais implicam movimentos que o desviam do seu rumo instantaneamente. O veículo de inspeção EM 120 não mede directamente as acelerações mas sim os defeitos geométricos que as provocam, método baseado na quantificação de flechas horizontais e verticais devido às irregularidades da via.

Com base no documento Nota Técnica de Via (NTV) – 003 Descrição geral do veículo de análise geométrica EM-120 Caminhos de Ferro Portugueses, E.P. Edição n.º01, é descrito o modo como é calculado o TQI. Este documento encontra-se no anexo D.

Cálculo do índice global de Qualidade da Geometria

Apresenta-se a seguinte tabela referente aos vários níveis de qualidade associados ao índice global de qualidade.

Tabela 2 – Índice Global de Qualidade, retirado (REFER - Nota Técnica de Via - 003)

Índice Global de Qualidade (TQI)	Níveis de Qualidade
$0 \leq TQI \leq 150$	Bom
$150 < TQI \leq 200$	Aceitável
$200 < TQI \leq 250$	Deficiente
$250 < TQI$	Mau

Com base no índice de qualidade para troços com 250 m de comprimento é possível saber onde são necessárias intervenções de conservação de via. Como foi referido no capítulo da caracterização dos sistemas de medição, são feitas duas análises anuais a toda a extensão da via-férrea, existindo registo de todas as informações analisadas nas inspeções feitas anteriormente. Deste modo é possível comparar registos actuais com anos/semestres anteriores e verificar qual a variação do índice de qualidade para determinada via.

2.6 Comparação entre Índices de Qualidade

Como foi referido no capítulo 2.5.1 e 2.5.2, referentes ao desvio padrão e índice de qualidade de via (TQI), respectivamente, ambos continuam a ter utilização. A implementação do desvio padrão não significa que o TQI fosse um índice desprezável. Significa que o desvio padrão complementa a avaliação do estado da via tendo em conta outro modo de analisar e avaliar.

A diferença principal decorre de que o desvio padrão é um parâmetro dimensional em que o seu valor é exprimido em milímetros, enquanto o TQI é um parâmetro adimensional.

Relativamente ao método de cálculo, o desvio padrão é um cálculo simplificado, directo que representa uma medida de dispersão usada com a média em que se mede a variabilidade dos valores em torno da média, enquanto o TQI necessita de um cálculo mais elaborado.

O TQI associa essencialmente dois parâmetros:

- Velocidades praticadas em determinado troço/secção de via;
- Defeitos geométricos.

Ao longo do modelo de cálculo são vários os parâmetros calculados. São medidos os defeitos geométricos que provocam acelerações verticais e horizontais; flechas no carril (esquerdo e direito); variações de bitola; variações de centro de gravidade; aceleração centrípeta (vertical e horizontal).

Através das relações referidas anteriormente deduz-se as seguintes premissas:

- >> Raio>> Flechas, logo maior será o defeito geométrico;
- Se a Velocidade aumentar para o dobro, o valor das flechas diminuem para um quarto do seu valor;
- Aceleração centrífuga depende do quadrado da velocidade;
- >> TQI, << a qualidade de geometria de via;
- >> Variação total em relação ao centro de gravidade>> TQI << Qualidade de via.

A via analisada é dividida por troços, na qual os troços são avaliados segundo o TQI com uma extensão de 250 metros, ao passo que os troços avaliados pelo desvio padrão têm a extensão de 200 metros.

São inúmeras as vantagens do parâmetro desvio padrão em relação ao TQI. Uma vez que o método tem em conta a imparcialidade de todos valores analisados ao longo do troço a cada 25 centímetros, exprime o verdadeiro estado via. No caso do TQI os defeitos são analisados tendo em conta a severidade de um único defeito gravoso, ao nível tolerância de acordo com uma série de factores. Esse mesmo erro pode influenciar uma via completamente operacional.

Ou seja, no caso de uma via estar em condições de exploração, apesar de ter alguns defeitos singulares pontuais em que a amplitude é elevada, afecta significativamente o nível de qualidade, apesar da via estar em perfeito estado de exploração.

A solução normalmente utilizada para aumentar o índice global de qualidade, através da avaliação de um troço pelo TQI, seria a redução de velocidade. O defeito continuaria a ser o mesmo, no entanto, eram colocados a nível da exploração afrouxamentos que reduzem a velocidade praticada, menosprezando as características geométricas desse troço em virtude de melhorar o índice de qualidade.

Com o desvio padrão esta forma de condicionar a Rede ao nível da exploração deixa de existir. Consoante a classe de velocidade de determinado troço, associado às suas características de concepção, ao nível da sua geometria, existem valores que limitam o valor do desvio padrão indicando a sua classe.

Deve-se salientar que existem pontos singulares em que por motivos técnicos ou financeiros se torna impossível de melhorar determinadas zonas, como é o caso de passagens de nível, aparelhos de dilatação, passagens superiores e inferiores, JIC's, aparelhos de mudança de via ou zonas de afrouxamento como é o caso das estações e apeadeiros. Estas zonas devido a serem elementos de ligação, normalmente soldados sofrem maior desgaste, provocando maior incomodidade ao longo da travessia.

2.7 Normas do Comité Europeu da Normalização

Tratando-se de um trabalho que implica a utilização de aparelhos de medição como é o caso do Trólei e do VIV 02 EM 120, é necessário quantificar a forma de tratamento de resultados de acordo com as normas Europeias. Em relação às tolerâncias sobre os parâmetros geométricos cada país é livre de usar os seus próprios valores, no entanto existe algo comum aos membros Europeus com indicações sobre a correcta concepção ao nível do projecto assim como ao nível da manutenção e conservação da via-férrea.

Fundado em 1961, o Comité Europeu da Normalização, é hoje em dia composto por 25 países da comunidade Europeia. A normalização e homogeneização é a forma de intervir sobre os países membros de modo a garantir a boa concepção e manutenção das infra-estruturas comum aos países que dispõem do modo ferroviário.

O Comité Técnico Aplicações Ferroviárias designado por TC 256, tem vindo ao longo dos anos identificando matérias passíveis de serem normalizadas, dando origem a 118 normas editadas até ao presente.

Exemplos do trabalho executado pelos grupos de trabalho ao serviço do CEN são as seguintes normas:

- WG 4 – Carril Sub Grupo de Soldadura;
- WG 5 – Máquinas de Construção e Manutenção de Via;
- WG 15 – Parâmetros de Projecto de Via;
- WG 16 – Travessas de Betão;
- WG 18 - Aparelhos de Via;
- WG 21 – Recepção de Trabalhos de Via;
- WG 28 – Qualidade da Geometria da Via;
- WG 34 – Qualificação de Empreiteiros de Trabalhos de Via;
- WG 39 – Segurança nos Trabalhos de Via.

Das referidas normas importa salientar WG 28 – Qualidade da Geometria da Via, uma vez que, está relacionada com o trabalho que será desenvolvido ao longo do Estágio Curricular.

Toda a informação relativa EN 13848-1 e EN 13848-2 foi retirada do documento interno da REFER, intitulado CEN/TG 256/SC1/WG28, Qualidade da Geometria da Via, executado pelo Engenheiro Rui Burrinha. (Burrinha, 2006)

A missão da norma WG 28 – Qualidade da Geometria da Via baseia-se nos seguintes itens:

- Identificar os parâmetros geométricos fundamentais à caracterização da geometria da via;
- Definir características dos equipamentos de medição;
- Definir critérios de aceitação de desempenho dos equipamentos de medição;
- Estabelecer critérios de análise da qualidade da geometria da via.
- Caracterização da geometria da via
- Harmonização dos principais parâmetros geométricos analisados pelos gestores da infra-estrutura ferroviária;
- Especificação de requisitos comuns aos equipamentos de medição;
- Especificação de métodos de análise e apresentação dos resultados.

2.7.1 EN 13848-1 Caracterização da Geometria da Via

Parâmetros geométricos:

- Bitola;
- Nivelamento Longitudinal;
- Nivelamento Transversal;
- Alinhamento;
- Empeno.

Na geometria de via os parâmetros de nivelamento longitudinal e o alinhamento deixam de ser definidos por flechas e passam a ser analisados através das seguintes gamas de comprimentos de onda segundo (Burrinha, 2006) (7):

- D1 : $3 \text{ m} < \lambda < 25 \text{ m}$;
- D2 : $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$, $V > 160 \text{ km/h}$;
- D3 : $\lambda > 70 \text{ m}$, $V > 250 \text{ km/h}$.

A justificação para a forma de medição deixar de ser feita com base nos métodos das flechas e ser executada com base nos comprimentos de ondas tem a ver com a distorção ao longo da medição de defeitos de determinados comprimentos de onda mais curtos.

Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

Deste modo apresentam-se os gráficos 1 e 2 com o padrão do terreno para determinado comprimento de onda.

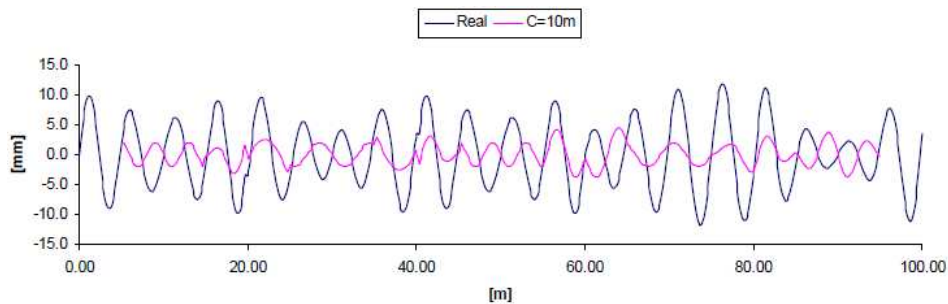


Gráfico 1 – Padrão do terreno com configuração aproximada de $\lambda = 5$ m, (Burrinha, 2006)

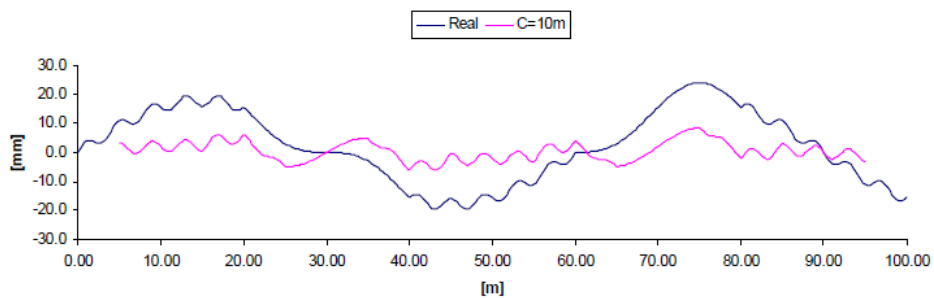


Gráfico 2 – Padrão do terreno com configuração aproximada de $\lambda = 60$ m, (Burrinha, 2006)

O sistema de cordas não tem capacidade de identificar defeitos com comprimentos de onda relevantes para velocidades superiores a 160 km/h.

Na tabela 3 e 4 está contida toda a informação relativa ao erro máximo admissível para os parâmetros indicados. A tabela 5 contém informação relativa à gama de valores que os equipamentos têm capacidade de medir de acordo com os vários parâmetros geométricos.

Especificações relativas à medição

- Resolução – menor valor que o equipamento mede (0.5 mm, para todos os parâmetros)
- Incerteza – erro máximo admissível

Tabela 3 – Erro máximo admissível de acordo com as três gamas relativamente ao Nivelamento Longitudinal e Transversal e Bitola, (Burrinha, 2006)

	Bitola	Niv. longitudinal			Niv. transversal		Alinhamento		
		D1	D2	D3	Abs.	Rel.	D1	D2	D3
mm	1	1	3	5	5	1	1.5	4	10

Tabela 4 - Erro máximo admissível de acordo com as três gamas relativamente ao Empeno, (Burrinha, 2006)

	Empeno			
	Base ≤ 5.5m		5.5m < Base ≤ 20m	
	Directo	Calculado	Directo	Calculado
mm/m	1/Base	1.5/Base	2/Base	3/Base

Tabela 5 – Gama de valores que os equipamentos têm capacidade de medir; Empeno ± 15 mm/m, (Burrinha, 2006)

	Bitola	Niv. longitudinal			Nivelamento transversal	Alinhamento		
		D1	D2	D3		D1	D2	D3
mm	-15/+50	±50	±100	±300	±225	±50	± 100	± 500

2.7.2 EN 13848-2 Dispositivos de Medição – Veículos de Recolha de Dados

Âmbito

- Especificação de testes e respectivos resultados necessários à validação das medições
- Especificação de requisitos relativos a componentes e funcionamento dos equipamentos de medição

Condicionalismos subjacentes aos testes

- A dificuldade de encontrar troço de referência que seja, geometricamente, pouco sensível à carga imposta pelos veículos de inspeção, impede a efectiva comparação de valores com os obtidos por outros equipamentos, através de medições sem carga
- Inexistência de equipamento semelhante que seja considerado padrão

Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

Existem dois tipos de testes transversais aos veículos de inspeção: reprodutibilidade e repetibilidade.

Os **testes de reprodutibilidade** segundo o CEN após terem sido executadas as calibrações definidas pelo fabricante, as medições efectuadas pelo veículo têm de ser testadas:

- As velocidades diferentes;
- Nas duas orientações;
- Nas duas direcções;
- Num troço mínimo de 5 km, com curvas de vários raios e direcções e com diferentes tipos de qualidade da via.

No Trólei não são passíveis de ter todas as condições indicadas anteriormente, uma vez que a velocidade de medição é muito restritiva.

No caso da EM-120 é possível variar todas as condições de medição dando maior fundamento a este tipo de teste.

Como tolerâncias surgem os seguintes valores associados ao percentil 95 da distribuição das diferenças, expressos na tabela 6 e 7, associados aos testes de reprodutibilidade e repetibilidade, respectivamente:

Tabela 6 – Tolerâncias dos testes de reprodutibilidade, (Burrinha, 2006)

	Bitola	Niv. longitudinal			Nivelamento transversal	Alinhamento		
		D1	D2	D3		D1	D2	D3
mm	±1;1.8	±0.8;0.6	±2	±5	±2.5;0.9	±1.1;0.6	±3	±7
Empeno								
Base ≤ 5.5m								
5.5m < Base ≤ 20m								
Directo		Calculado			Directo		Calculado	
mm/m	±1 /Base	± 1.5/Base;1.2/Base			±1 /Base		± 3/Base	

Os **testes de repetibilidade** estabelecem limites mais restritivos para os testes efectuados em idênticas condições de operação, como se pode analisar na seguinte tabela.

Tabela 7 – Tolerâncias dos testes de repetibilidade, (Burrinha, 2006)

	Bitola	Niv. longitudinal			Nivelamento transversal	Alinhamento		
		D1	D2	D3		D1	D2	D3
mm	±0.5;0.7	±0.5;0.5	±1	±3	±1.5;0.8	±0.7;0.4	±2	±4
Empeno								
Base ≤ 5.5m								
5.5m < Base ≤ 20m								
Directo		Calculado			Directo		Calculado	
mm/m	±0.7/Base	± 1/Base;1/Base			±0.8 /Base		± 2/Base	

Requisitos relativos ao funcionamento dos equipamentos

- Medir os parâmetros geométricos nas condições enunciadas na EN 13848-1
- Condições climáticas (temperatura, humidade) e de operação (impactos de balastro, lubrificação, compatibilidade electromagnética) a considerar no funcionamento dos equipamentos
- Introdução de eventos (linhas, quilometragem, AMV)
- Modo de sincronização dos dados com a localização
- Distância máxima entre registos: 0.5 m
- Tipos de visualização (operadores e utilizadores)
- Transmissão e armazenamento da informação recolhida

Equipamentos de medição instalados em máquinas de conservação de via

- Especificação de testes e respectivos resultados necessários à validação das medições, a exigir pelo gestor da infra-estrutura
- Especificação de requisitos relativos a componentes e funcionamento dos equipamentos de medição

Requisitos

- Inexistência de obrigatoriedade do equipamento medir todos os parâmetros definidos na EN-13848-1
- O nivelamento longitudinal e o alinhamento podem ser medidos no eixo da via ou numa só fila
- Inexistência de obrigatoriedade de nos pontos de medição existir uma carga mínima de 2,5 toneladas
- O equipamento não tem de medir nas duas orientações
- A extensão mínima dos troços de teste é de 500 m, para o teste de validação inicial é de 200 m, para os testes de validação periódicos
- Se o equipamento possuir uma gama curta de velocidades de medição ($V_{max} - V_{min} \leq 5 \text{ km/h}$), terá de ser testado, somente, à velocidade máxima

Na tabela seguinte apresenta-se o valor da incerteza em milímetros relativamente a máquinas de conservação de via e veículos de inspeção de via.

Tabela 8 – Incerteza quanto ao Niv. Longitudinal e Alinhamento, (Burrinha, 2006)

		Niv. longitudinal			Alinhamento		
		D1	D2	D3	D1	D2	D3
MCV	mm	1.5	-	-	2	-	-
VIV	mm	1	3	5	1.5	4	10

Reprodutibilidade – limites

O percentil 95 da distribuição das diferenças tem de estar nos seguintes limites de acordo com a tabela 9 e 10:

Tabela 9 – Limites de Reprodutibilidade, (Burrinha, 2006)

		Bitola	Nivelamento longitudinal	Nivelamento transversal	Alinhamento
MCV	mm	±1.5	±1.5	±2.5	±2
VIV	mm	±1	±0.8	±2.5	±1.1

Repetibilidade – limites

O percentil 95 da distribuição das diferenças tem de estar nos seguintes limites:

Tabela 10 – Limites da Repetibilidade, (Burrinha, 2006)

		Bitola	Nivelamento longitudinal	Nivelamento transversal	Alinhamento
MCV	mm	±1	±1	±1.5	±1.5
VIV	mm	±0.5	±0.5	±1.5	±0.7

Avaliação da qualidade da geometria da via

Âmbito

- Harmonização de critérios de avaliação da qualidade da geometria da via, existentes nos diversos gestores da infra-estrutura ferroviária
- Dotar os gestores da infra-estrutura ferroviária com limites comuns para acções relacionadas com a manutenção da via

2.7.3 EN 13848-3 Especificação para Aparelhos de Medição - Equipamentos Instalados nas Máquinas de Manutenção de Via-Férrea

Relativamente à EN 13848-3 encontram-se em anexo indicações de modo a cumprir os requisitos impostos pelas mesmas.

Os requisitos impostos pelas normas europeias são expressos nos seguintes níveis:

Método de medição; Comprimento de onda; Resolução; Incerteza; Faixa de medição; Método de análise; Requisitos de saída; Apresentação de saída.

No caso da EN 13848-3, especificamente indica como deve ser executado o processo de medição, os valores correspondentes ao comprimento de onda, resolução, incerteza e faixa de medição, expressos em milímetros.

O método de análise é normalmente efectuado no local de recolha dos dados, sendo processado posteriormente.

Em relação aos requisitos de saída é de enfatizar que corresponde a um conjunto de leituras registada, de preferência em formato digital e devem ser também apresentados graficamente.

A apresentação de saída no caso dos parâmetros nivelamento longitudinal, empeno e alinhamento será através de defeitos isolados e desvio padrão ao longo de 200 metros de comprimento de via. No caso do nivelamento transversal será apresentado em valor absoluto. A bitola dispõe das seguintes informações: defeitos individuais; valor padrão da bitola; diferença entre a bitola medida e o valor padrão (1668 mm), e variação da bitola ao longo de uma determinada distância.

2.7.4 EN 13848-4 Especificação para Aparelhos de Medição – Medição de Via por Tróleys e Equipamentos Manuais

Relativamente à EN 13848-4 encontram-se em anexo indicações de modo a cumprir os requisitos impostos pelas mesmas.

Em relação à EN 13848-4, as imposições descritas são semelhantes às indicadas na EN 13848-3, como comprimentos de onda, resolução, incerteza e faixa de medição.

Os métodos de medição são referidos em relação especificamente para tróleys e equipamentos manuais. Método de análise:

- Bitola – valor de pico em relação ao valor padrão (1668 mm);
- Empeno – Zero ao valor de pico e média ao valor de pico;
- Alinhamento, nivelamento longitudinal, e nivelamento transversal – média ao valor de pico.

Requisitos de saída: Conjunto de leituras gravadas em formato digital em todos os parâmetros.

Apresentação de saída é semelhante no caso do nivelamento transversal em valor absoluto. Em relação ao alinhamento e nivelamento longitudinal é feito de acordo com o comprimento de onda D1. A bitola baseia-se no mesmo princípio referido na EN 13848-3. No caso do parâmetro empeno os valores não são processados.

Devo salvaguardar que tanto o VIV 02 EM-120 como o Krab Light estão perfeitamente habilitados e de acordo com as Normas Europeias, para desenvolver o processo de inspeção/análise, respeitando todos os requisitos impostos.

2.7.5 EN 13848-5 Avaliação da Qualidade Geométrica

Limites considerados - Acção Imediata, Intervenção e Alerta de acordo com o C.E.N são apresentados seguidamente na tabela 11, 12 e 13, respectivamente.

Tabela 11 – Limite de acção Imediata

Classe		V	IV	III	II	I
Velocidade/Parâmetro		$V \leq 80$	$80 \leq V \leq 120$	$120 \leq V \leq 160$	$160 \leq V \leq 230$	$230 \leq V \leq 300$
Bitola		- 13/+35	-13/+35	-13/+35	-7/+27	-7/+27
Bitola Média 100 m		-9/+32	-7/+27	-5/+20	-5/+20	-5/+20
Nivelamento Longitudinal	D1	29	26	24	20	17
	D2	-	-	-	33	28
Nivelamento Transversal	Limite	16	14	12	11	10
Alinhamento	D1	22	17	14	12	10
	D2	-	-	-	24	20

Escala (mm)	Base (m)	Limite (mm/m)
$E \leq (R-200)/2$	$1.3 \leq B \leq 5$	7
	$5 \leq B \leq 20$	$20/B+3$
$E > (R-200)/2$ e $E < (R-50)/1.5$	$1.3 \leq B \leq 4.44$	6
	$4.44 \leq B \leq 13.33$	$20/B+1.5$
	$13.33 \leq B \leq 20$	3

Equipamento de Verificação e Inspeção de Vias Ferroviárias

Tabela 12 – Limite de Intervenção

Classe		V	IV	III	II	I
Velocidade/Parâmetro		$V \leq 80$	$80 \leq V \leq 120$	$120 \leq V \leq 160$	$160 \leq V \leq 230$	$230 \leq V \leq 300$
Bitola		-11/+30	-11/+30	-11/+30	-5/+22	-5/+22
Bitola Média 100 m		-8/+28	-6/+25	-4/+18	-4/+18	-4/+18
Nivelamento Longitudinal	D1	16-20	12-18	10-17	9-14	8-12
	D2	-	-	-	18-23	16-20
Nivelamento Transversal		Limite	12-14	10-12	8-10	7-9
Alinhamento	D1	14-16	10-12	8-10	7-9	6-8
	D2	-	-	-	14-17	12-14

Tabela 13 – Limite de Alerta

Classe		V	IV	III	II	I
Velocidade/Parâmetro		$V \leq 80$	$80 \leq V \leq 120$	$120 \leq V \leq 160$	$160 \leq V \leq 230$	$230 \leq V \leq 300$
Bitola		-9/+25	-9/+25	-9/+25	-4/+20	-4/+20
Bitola Média 100 m		-7/+25	-5/+22	-3/+16	-3/+16	-3/+16
Nivelamento Longitudinal	D1	12-18	10-16	8-15	7-12	6-10
	D1	2.3-3	1.8-2.7	1.4-2.4	1.2-1.9	1.0-1.5
	D2	-	-	-	14-20	12-18
Nivelamento Transversal		Limite	10-13	8-11	6-9	6-8
Alinhamento	D1	12-15	8-11	6-9	5-8	4-7
	D1	1.5-1.8	1.2-1.5	1.0-1.3	0.8-1.1	0.7-1.0
	D2	-	-	-	10-15	8-13

Escala (mm)	Base (m)	Limite (mm/m)
$E \leq (R-200)/2$	$1.3 \leq B \leq 5$	7
	$5 \leq B \leq 20$	$20/B + 3$
$E > (R-200)/2$ e $E < (R-50)/1.5$	$1.3 \leq B \leq 4.44$	6
	$4.44 \leq B \leq 13.33$	$20/B + 1.5$
	$13.33 \leq B \leq 20$	3

Capítulo 3 - Resultados

3.1 Metodologia

A metodologia associada a este T.F.M., de acordo com o que foi enunciado no Capítulo 1 (Introdução), com base nos registos e outputs do VIV 02 EM 120 e do Trólei Krab Light, tem como objectivo chegar a conclusões sobre o uso do veículo e do equipamento ligeiro nos diferentes troços de via existentes em Portugal. Deste modo é importante caracterizar a Rede Ferroviária Nacional.

Caracterização da Rede Ferroviária Nacional

Como sabemos a Rede Ferroviária Nacional é composta por uma Rede Principal, uma Rede Complementar e uma Rede Secundária. A Rede Principal dispõe-se numa rede de malha aberta, assegurando os principais corredores e ligações entre cidades. No caso da Rede Complementar assegura que a Rede Principal se torne numa malha menos aberta de modo a abranger maior área no território Nacional. No caso da Rede Secundária é na maioria dos casos uma Rede de via única, sem ligação estabelecida, tornando a rede numa malha que abrange maior área territorial mas torna a malha aberta.

A extensão da Rede Ferroviária Nacional, incluindo linha e ramais (em exploração e não exploradas, incluindo troços concessionados), tem a extensão total de 3.618,792 Km. A parte de rede que reúne as condições para a circulação de comboios, tem uma extensão de 2.793,920 Km, em que 2.183,985 Km são em via única, dos quais 191,799 Km em via estreita; e 609,935 Km em via múltipla.

Relativamente à electrificação da Rede Ferroviária Nacional electrificada é de 1.525,742 Km, a totalidade em exploração, e em via larga, sendo 916,353 Km em via única e 609,389 Km em via múltipla.

Os dados referidos anteriormente foram recolhidos segundo I.E.T. 50, documento em vigor desde 11 de Dezembro de 2005. Dados recentes indicam uma diminuição da extensão da rede em exploração como seguidamente indico:

- Rede Principal 1.059,50 Km
- Rede Complementar 885,21 Km
- Rede Secundária 529,71 Km

Dados em relação a 2010, existem 2.474,42 Km em extensão de rede aberta à exploração.

A nível da infra-estrutura/superestrutura será interessante saber as extensões da rede com diferentes constituições ao nível do armamento, ou seja, tipo de carril, tipo de travessas e fixações.

Esse "know-how" seria usado através dos resultados explorados tendo em conta as dimensões dos dados utilizados, que representariam determinada percentagem na Rede Ferroviária Nacional.

Estas informações são úteis no sentido de, após a análise de dados sobre os diferentes tipos de superestruturas, ou seja, uma via com travessas monobloco, uma via com travessas bi-bloco, e uma via com travessas de madeira. Consoante o tipo de superestrutura o comportamento elástico da via difere quando solicitada. Será útil de modo a chegar a comparações e conclusões benéficas fazendo a análise de dados sobre a inspeção de via neste três tipos de superestruturas.

Resumidamente os testes/ensaios devem respeitar todas as indicações referidas na EN-13848, assim como procedimentos internos da REFER.

A metodologia de análise dos dados recolhidos será a seguinte:

Executados os ensaios, inicia-se o processo de recolha de dados "in situ" ao longo dos troços, sendo que nesse processo serão feitas as repetições necessárias de modo a validar os valores recolhidos de acordo com o tipo de testes de reprodutibilidade.

O modo como serão comparados os dados após serem tratados pelo seu software específico, será obtido num modelo de dados em folha de Excel, que contém a informação primária relativa aos parâmetros geométricos (valores tratados), os parâmetros em valores absolutos como é o caso da Bitola, Empeno (base 3 metros) e Nivelamento Transversal. Em relação ao Alinhamento e Nivelamento Longitudinal a informação será obtida de acordo com os comprimentos de onda D1 e D2.

A informação tratada será os parâmetros Bitola, Empeno e Nivelamento Transversal em valores absolutos, e Alinhamento e Nivelamento Longitudinal em D1, ou seja, em valores relativos. Esta metodologia está de acordo com os Outputs do VIV 02 EM-120 e do Krab Light.

Os comprimentos de onda D1 e D2 traduzem melhor os valores reais recolhidos sobre o estado da via, relativamente ao alinhamento e nivelamento longitudinal. A medição por cordas devido ao reduzido comprimento da corda provoca distorções ao longo da

medição de defeitos, além do facto de não ter capacidade de identificar defeitos significativos para velocidades superiores a 160 Km/h. Deste modo de identificação de flechas através de cordas é substituído por gamas de comprimento de onda.

Para obter resultados que exprimam o estado actual da Rede Ferroviária Nacional, a recolha de dados será executada em três diferentes superestruturas. Assim escolhem-se os três tipos de superestruturas que representam em maior percentagem a Rede actual.

A secção tipo 1, situa-se entre o Entroncamento e Aveiro, pertence à Linha do Norte, constituinte da Rede Principal.

A secção tipo 2, situa-se entre Abrantes e Torre das Vargens, pertence à linha do Leste, constituinte da Rede Secundária.

A secção tipo 3, situa-se entre Torre das Vargens e Elvas, pertence à linha do Leste, constituinte da Rede Secundária.

Secção Tipo 1

- Desvio Padrão do Alinhamento ($\sigma < 1.1$)
- Desvio Padrão do Nivelamento Longitudinal ($\sigma < 1.9$)
- Travessa monobloco com fixação elástica
- Carril UIC 60_ Barra Longa Soldada (BLS)
- Troço com curvas de raio pequeno ($R < 600\text{m}$), elevado ($600 < R < 2500$) e em recta ou raio muito elevado ($R > 2500\text{m}$)
- Extensão em análise 1.205 metros entre KM135.400 e 136.605.

Secção Tipo 2

- Desvio Padrão do Alinhamento ($\sigma < 1.1$)
- Desvio Padrão do Nivelamento Longitudinal ($\sigma < 1.9$)
- Travessa bi-bloco com fixação elástica
- Carril UIC 54
- Barra Longa Soldada (BLS)
- Troço com curvas de raio pequeno ($R < 600\text{m}$), elevado ($600 < R < 2500$) e em recta ou raio muito elevado ($R > 2500\text{m}$)
- Extensão em análise cerca de 2.000 metros entre KM 167.001 e 168.999.

Secção Tipo 3

- Desvio Padrão do Alinhamento ($\sigma < 1.8$)
- Desvio Padrão do Nivelamento Longitudinal ($\sigma < 3.0$)
- Travessa madeira com fixação elástica
- Barra Curta
- Carril UIC 54
- Troço com curvas de raio pequeno ($R < 600\text{m}$), elevado ($600 < R < 2500$) e em recta ou raio muito elevado ($R > 2500\text{m}$)
- Extensão em análise 3.201 metros entre KM 195.000 e 198.201.

As medições efectuadas na secção tipo 1 são referentes à data 5.Abril.2010

As medições efectuadas na secção tipo 2 e 3 são referentes à data 9.Abril.2010

Gráficos produzidos pelo VIV02 EM 120, referentes às secções tipo encontram-se no anexo E, pela ordem de descrição das secções tipo.

Uma vez que não foi possível executar testes à actual Rede Ferroviária Nacional, os dados em estudo foram solicitados ao departamento - Inspeção e Monitorização da REFER, segundo os quais este mesmo departamento realizou alguns estudos, em relação ao qual não foi permitido ter acesso. Obviamente que o Director de Inspeção e Monitorização Engenheiro Marco Baldeiras teve conhecimento e aceitou o pedido de modo a ceder os dados por parte do Engenheiro André Santos.

A metodologia de cálculo para análise e comparação dos dados cedidos com os respectivos parâmetros geométricos recolhidos pelo VIV 02 EM 120 e Krab Light será a seguinte:

- Inicialmente é feito o acerto quilométrico parâmetro a parâmetro;
- Os acertos são feitos em todas as secções tipo com divisões em troços de extensão total 500 metros;
- Acerto é verificado através de um modelo numérico;
- Seguidamente é verificado graficamente;
- Com o melhor resultado do acerto, esses dados são transmitidos, segundo determinada secção, segundo o elemento de traçado e parâmetro geométrico;
- Finalmente é executado histograma para cada elemento de traçado, constituinte de uma secção, ou seja, por cada parâmetro são criados três histogramas, correspondentes à divisão entre curva de transição, curva circular e alinhamento recto;
- A partir da análise e comparação dos vários histogramas homólogos será executada a Discussão e Conclusão sobre os resultados.

3.2 Testes/Ensaios

Como foi dito em 3.1 Metodologia, os dados usados para analisar foram cedidos pela REFER. Nesse âmbito não foi possível executar as medições ou recolha de dados que será usada.

Contudo foram executadas deslocações no VIV02 EM 120, onde foi possível verificar o modo de trabalho assim como foram efectuados testes com o Krab Light.

No caso da deslocação no VIV02 EM 120 com partida na estação Entroncamento, teve como objectivo fazer a inspecção até Torre das Vargens e execução de testes ao longo da linha do Leste com um equipamento da Sperry (Inspeção ultra sónica).

O equipamento de medição da bitola não estava operacional devido à instalação do sistema laser de medição do desgaste ondulatório. No entanto foi possível verificar o modo de funcionamento de todos os sistemas.

Será referido seguidamente o processo utilizado na recolha de dados em ambas as situações, ou seja, pelo VIV 02 EM-120 e Krab Light.

O modo correcto estrutural de execução de teste/ensaio será de acordo com EN 13848 o seguinte:

Além de todos os requisitos referidos anteriormente no Capítulo 2, secção 2.7.2 EN 13848-2 Dispositivos de medição - Veículos de recolha de dados, indica o procedimento ao longo dos troços analisados.

O VIV02 EM 120 deve iniciar o processo de medição sobre determinada estaca hectométrica de modo a que na sua passagem a velocidade seja superior a 18 km/h, regime mínimo de velocidade para ser executada a leitura dos parâmetros geométricos.

Sabendo o início e fim do troço, assim como a sua extensão, a recolha de dados pelo VIV02 EM 120 deve ser executada no sentido ascendente e descendente da quilometragem de modo a poder comparar e validar os dados.

O modo de medição do Krab Light implica uma série de testes de arranque assim como repetições de medição sobre o troço.

Procedimento operacional:

- Sempre que se monta e desmonta o Krab é necessário proceder a uma calibração;
- A calibração é feita através de um simples teste sobre os carris ao longo de um troço com a extensão de 50 metros, nos dois sentidos no modo empurrar o dispositivo;
- Comparação dos dados recolhidos nas duas leituras;
- O software executa a auto-calibração do dispositivo.

As repetições associadas ao registo pelo equipamento Krab Light são segundo a EN 13848-4 Especificação para aparelhos de medição – Medição da via por tróleys ou equipamentos manuais, os requisitos mínimos exigidas para comparação do registo recolhidos.

A explicação para o início da análise ser uma estaca hectométrica, está relacionado com o facto da marcação das estacas não estarem espaçadas de acordo com as suas indicações. Ora o que acontece é que, nos registos executados pelo VIV 02, é necessário de X em X Km, acertar a quilometragem, uma vez que, a marcação do VIV 02 é rigorosa, enquanto a marcação física de estacas no terreno não corresponde à realidade.

Outra condição seria que o espaço temporal entre o 1º Ensaio e o 2º Ensaio, deve ser o mínimo de modo a garantir que as condições físicas sejam as mesmas, a nível de temperatura, humidade, índice de tonelagem sobre a via etc.

O procedimento referido não será de acordo com os dados que são utilizados para obter os resultados, ainda assim, será referido um processo homólogo executado durante uma deslocação com equipamento Krab Light à Linha do Leste, com medição junto ao Apeadeiro da Fazenda.

Este teste de medição foi executado devido ao processo de revisão do equipamento, que após dois anos de trabalho deve ser verificado e calibrado pelo fabricante, na República Checa. Após este trabalho, o equipamento será enviado ao fabricante com o intuito de verificar se é necessário a substituição de elementos de desgaste e calibração completa do mesmo.

Medição executada “in situ” – Apeadeiro da Fazenda

Pk 167.300 – Pk 168.100, com a extensão 800 metros. De acordo com os vários modos de funcionamento do Krab Light, as medições foram feitas de acordo com a seguinte ordem, de modo a respeitar a EN 13848, ou seja, após o teste de ensaio inicia-se o processo de recolha de dados que terá as seguintes repetições, para que os dados recolhidos sejam validados. A metodologia foi a seguinte:

1ª medição - Empurrar – Km >> *;

2ª medição - Empurrar – Km<< **;

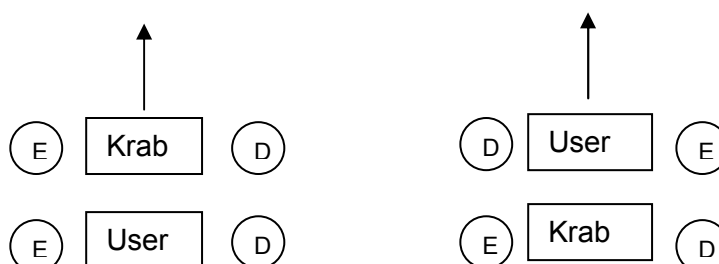
3ª medição - Empurrar – Km >> *;

4ª medição - Empurrar – Km >> *;

5ª medição - Puxar - Km >> *;

Medição dos Parâmetros Geométricos – Standard Deviation Krab 7.1

Modo de trabalho – de frente para o Krab Light



* Quilometragem ascendente

** Quilometragem descendente

Segundo a informação na EN 13848-4 o modo de validação dos dados para ensaios de reprodutibilidade é da seguinte forma:

1ª Medição - Empurrar – Km >>;

2ª Medição - Empurrar – Km >>;

3ª Medição - Empurrar – Km<<;

4ª Medição - Puxar - Km >>;

5ª Medição - Puxar - Km >>.

3.3 Gráficos, Análise de Dados (Outputs)

Em seguida apresentam-se os gráficos 3 e 4, de modo a exemplificar a visualização sobre acertos quilométricos para o parâmetro bitola.

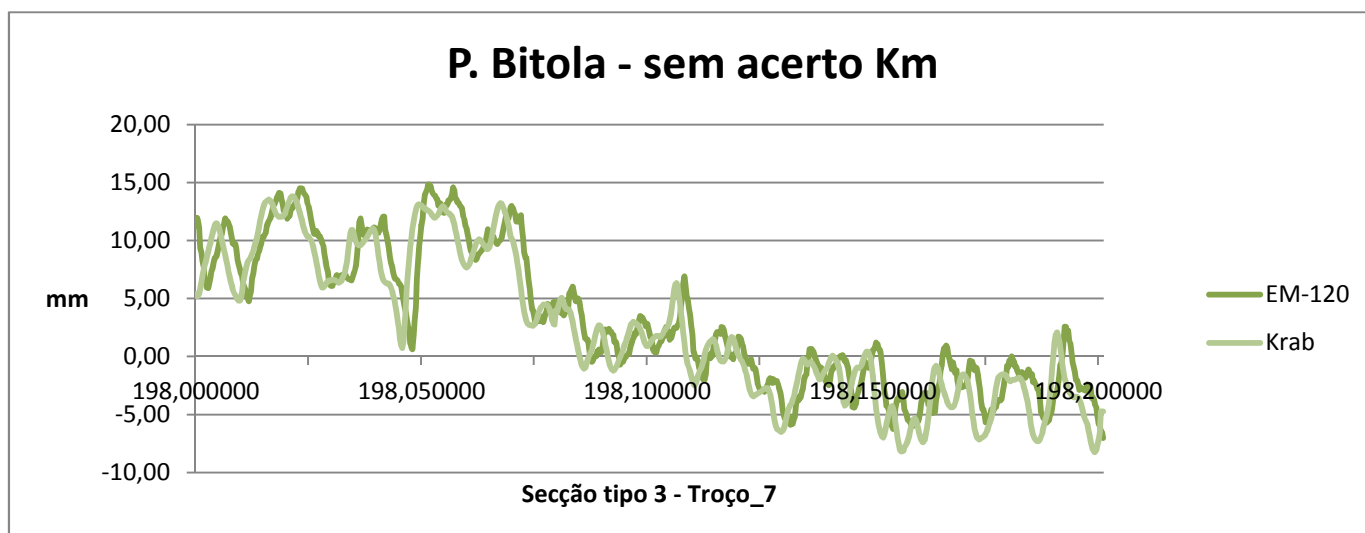


Gráfico 3 – Andamento do parâmetro bitola, na secção tipo 3, troço_7, sem acerto quilométrico

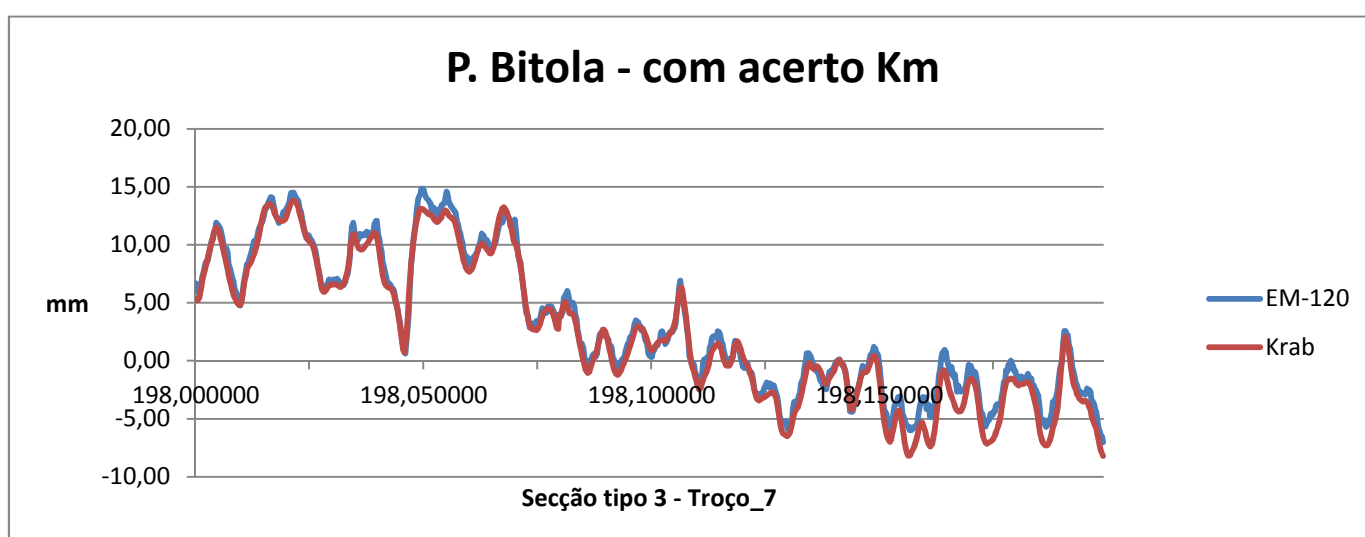


Gráfico 4 - Andamento do parâmetro bitola, na secção tipo 3, troço_7, com acerto quilométrico

O acerto quilométrico visualizado entre os gráficos 3 e 4 é de 2,00 metros.

Devo referir que na secção tipo 1, os acertos são elevados devido a uma falha de um dos sistemas de medição.

Como os acertos quilométricos são executados para cada parâmetro geométrico, com as secções divididas em troços de 500 metros, todos os gráficos encontram-se nos respectivos ficheiros Excel em formato digital.

O acerto quilométrico como foi referido no subcapítulo 3.1 Metodologia, é executado de acordo com o tipo de secção, esquadrelada em troços de 500 metros e com os diferentes parâmetros geométricos.

O acerto é executado sobre o parâmetro em relação à quilometragem, ou seja, a quilometragem mantém-se ao longo de determinada secção, troço a troço, como referência absoluta.

Assim o parâmetro é acertado troço a troço. Ainda que todas as subdivisões tenham o mesmo acerto quilométrico, este acerto não é acumulado, ou seja, entre troço tomam-se como referências absolutas os dados originais.

Deste modo, a título de exemplo, o facto de ao longo de determinada secção constituída por 3 troços, o acerto quilométrico ser de 0,50 centímetros por cada troço, não significa que essa secção tenha um acerto global de 1,50 metros, significa sim que o acerto entre troços é igual e que tem um acerto global de 0,50 centímetros.

O método utilizado ao longo de todos os acertos efectuados é feito através do somatório dos mínimos absolutos, que pode ser traduzida matematicamente pela seguinte fórmula:

$$\sum_{n+1}^n (Val. VIV02 - Val. Krab) \vee \sum_{n+1}^n (Val. Krab - Val. VIV02) \quad [3]$$

O menor dos somatórios indica a melhor correlação entre os dados medidos pelo VIV02 EM-120 e o Krab Light, que por sua vez, traduz o valor do acerto quilométrico.

Seguidamente será explicado o modo como são agrupados os dados referentes a elementos de traçado homólogos.

Com o acerto dos troços com uma extensão de 500 metros, são extraídos todos os dados referentes à melhor correlação de acordo com o elemento de traçado em causa.

A divisão dos elementos de traçado é a seguinte: Curva de Transição, Curva Circular e Alinhamento Recto.

No caso da secção tipo 1 e 2 a divisão foi executada com base no output do EM-120, de acordo com o parâmetro nivelamento transversal.

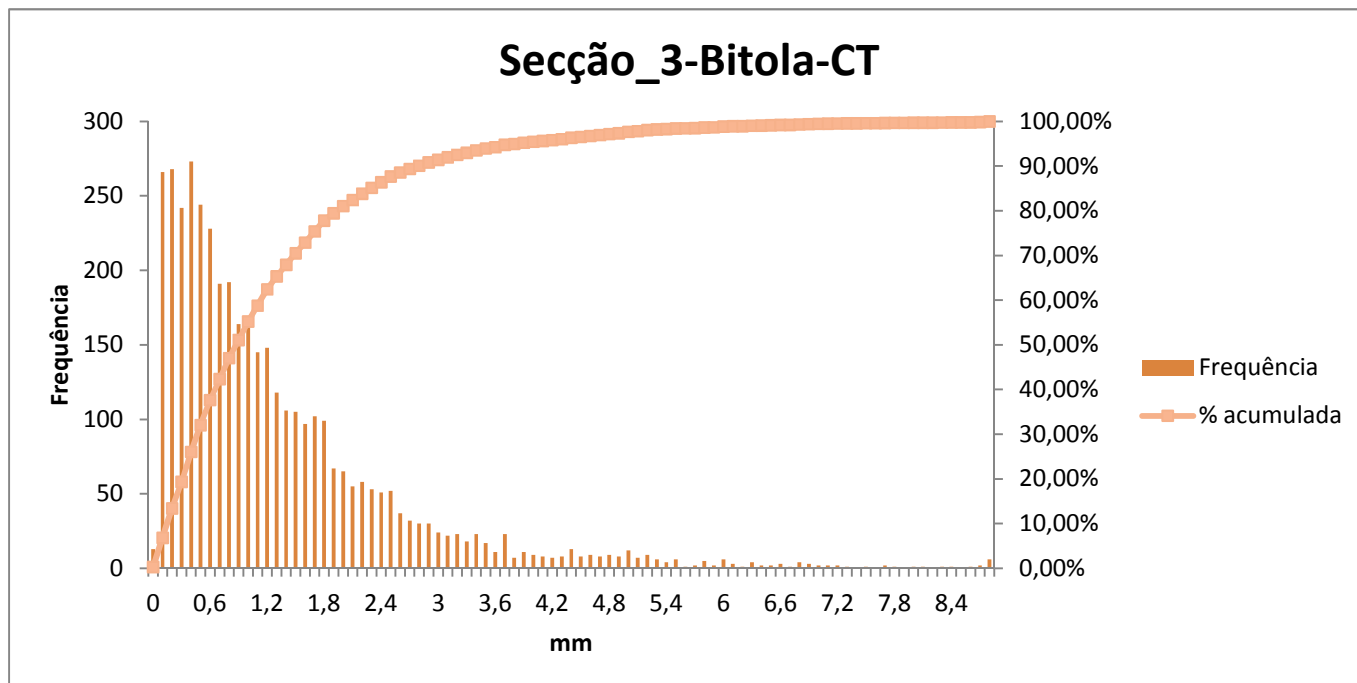
A secção tipo 3, dispõe do output do EM120, que tem agregado um documento sobre a análise de curvas, que indica comprimentos, início e fim de todos os elementos de traçado.

Com todos os elementos agrupados correspondentes a cada elemento de traçado é fácil poder comparar os valores entre as diferentes secções tipo. Para evidenciar estas diferenças é executado um histograma que através da frequência dos dados introduzidos, em relação a um determinado intervalo que revele as diferenças entre as medições com o melhor acerto quilométrico.

Seguidamente é mostrado o modo como foi executado o histograma para a secção tipo 3, troço_7, por elementos de traçado.

Secção tipo 3 – Parâmetro Bitola

Apresenta-se em seguida o histograma 1, 2 e 3, relativo à secção tipo 3, parâmetro bitola ao longo dos três elementos de traçado.



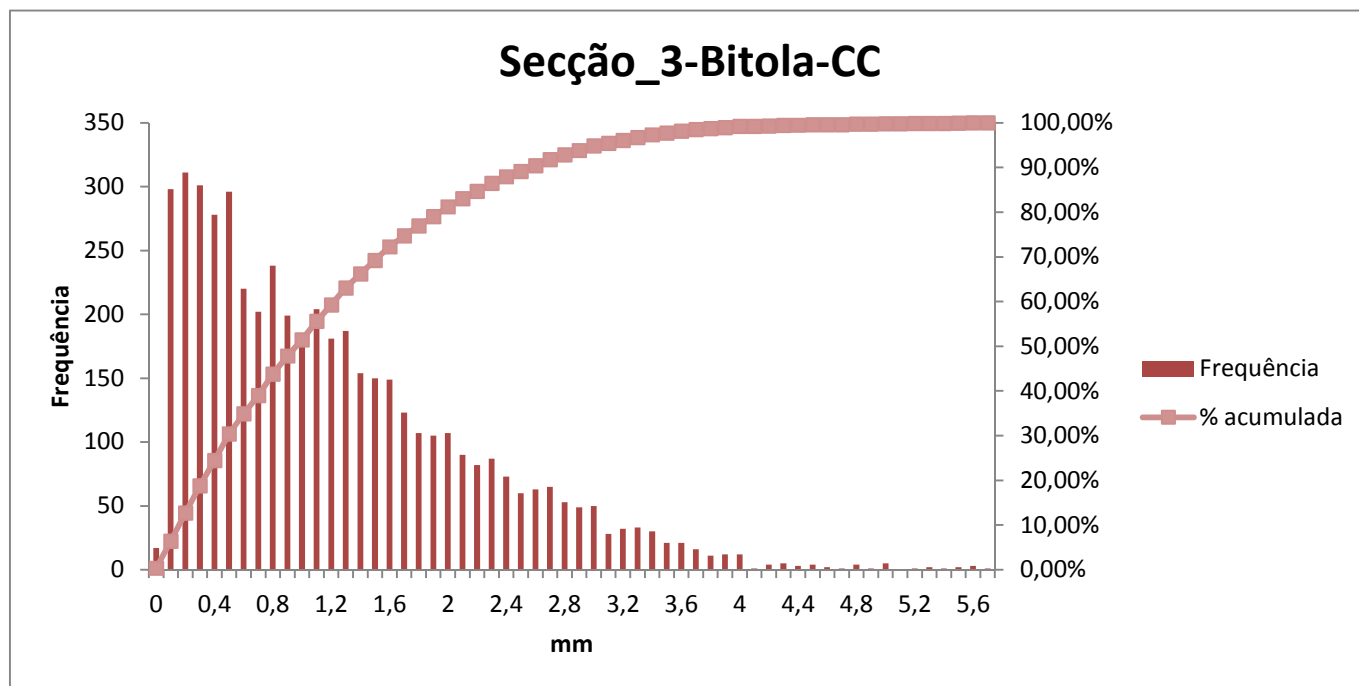
Histograma 1 – Secção tipo 3, parâmetro bitola ao longo da curva de transição

Devido ao número de histogramas a descrever, o procedimento será executado de igual modo para todas as secções. Assim são incluídos somente três histogramas referentes ao parâmetro bitola em cada uma das três secções, sendo relatados todos os outros gráficos. Em anexo seguem todos os gráficos relatados.

Ao longo da secção tipo 3 existe um único acontecimento. No entanto não se verificam alterações significativas provocadas por uma cróssima, no final da secção analisada.

Segundo o “histograma 1” verifica-se o seguinte:

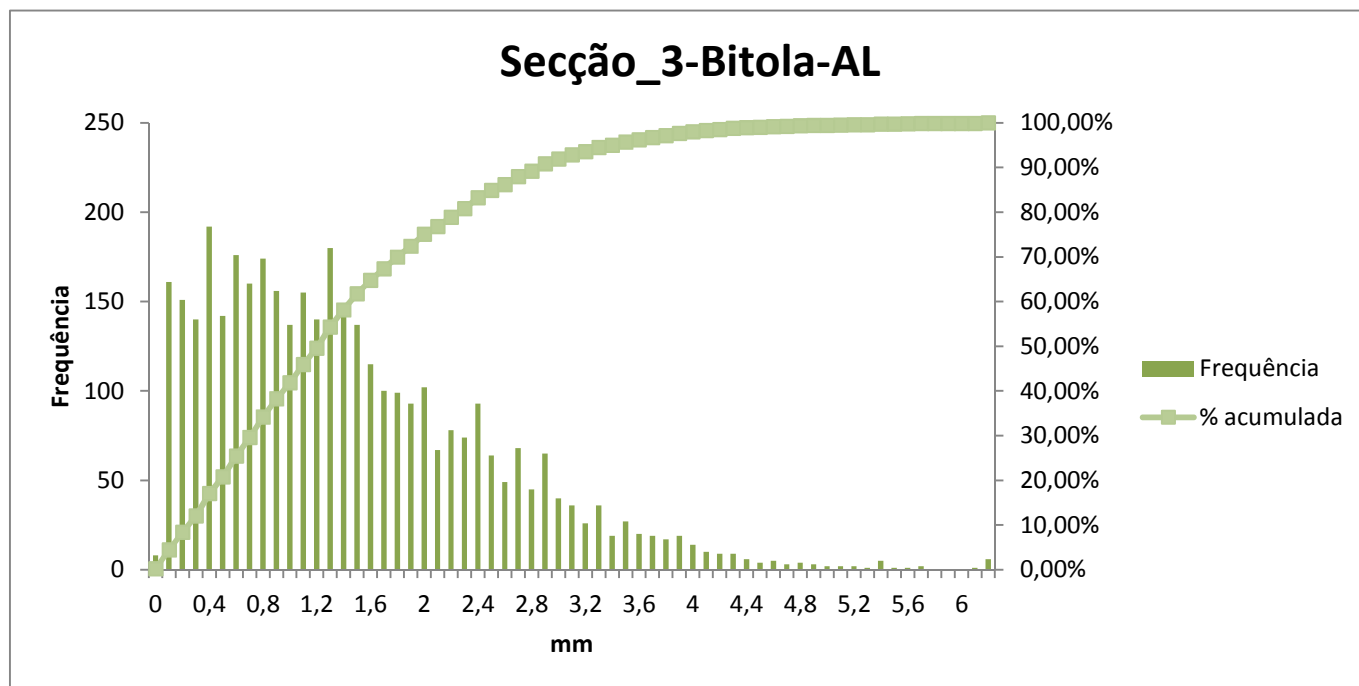
- Maior frequência surge para a diferença 0,4 mm (273 elementos), com % acumulada de 26,07;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 7,4 mm, com % acumulada de 99,58;
- Diferença de 2,5 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada de 87,67;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,09 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 6,4 mm.



Histograma 2 – Secção tipo 3, parâmetro bitola ao longo da curva circular

Segundo o “histograma 2” verifica-se o seguinte:

- Maior frequência surge para a diferença 0,2 mm (311 elementos), com % acumulada de 12,68;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 5,1 mm, com %acumulada de 99,80;
- Diferença de 3,0 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com %acumulada de 94,81;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,19 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 4,0 mm.



Histograma 3 – Secção tipo 3, parâmetro bitola ao longo do alinhamento recto

Segundo o “histograma 3” verifica-se o seguinte:

- Maior frequência surge para a diferença 0,4 mm (192 elementos), com % acumulada de 17,08;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 5,8 mm, com % acumulada 99,82;
- Diferença de 3,0 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 91,90;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,14 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 4,6 mm.

Seguidamente será feita a mesma análise a todos os gráficos respeitante aos restantes parâmetros no entanto não será inserido o gráfico, sendo posteriormente colocada em anexo.

Secção tipo 3 – Parâmetro Empeno

Segundo o histograma da secção tipo 3 – Empeno – Curva de transição:

- Maior frequência surge para a diferença 0,2 mm (326 elementos), com % acumulada de 16,01;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 5,3 mm, com % acumulada 99,71;
- Diferença de 2,2 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 91,06;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,14 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 4,3 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 3 – Empeno – Curva circular:

- Maior frequência surge para a diferença 0,3 mm (430 elementos), com % acumulada de 25,59;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 5,5 mm, com % acumulada 99,61;
- Diferença de 2,2 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 91,31;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,07 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 4,7 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 3 – Empeno – Alinhamento recto:

- Maior frequência surge para a diferença 0,1 mm (314 elementos), com % acumulada de 8,57;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 4,6 mm, com % acumulada 99,69;
- Diferença de 2,3 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 93,95;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,11 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 3,8 mm.

Os histogramas associados localizam-se no anexo G.

Secção tipo 3 – Parâmetro Nivelamento Transversal

Segundo o histograma da secção tipo 3 – Niv. Transversal – Curva de transição:

- Maior frequência surge para a diferença 0,2 mm (338 elementos), com % acumulada de 16,84;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 4,1 mm, com % acumulada 99,63;
- Diferença de 2,2 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 94,55;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,12 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 3,3 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 3 – Nivelamento Transversal – Curva de circular:

- Maior frequência surge para a diferença 0,2 e 0,3 mm (286 elementos), com % acumulada de 17,71 e 23,14, respectivamente;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 5,2 mm, com % acumulada 99,86;
- Diferença de 2,8 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 94,78;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,21 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 4,1 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 3 – Niv. Transversal – Alinhamento Recto:

- Maior frequência surge para a diferença 0,3 mm (342 elementos), com % acumulada de 26,38;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 3,8 mm, com % acumulada 99,87;
- Diferença de 1,9 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 93,66;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,29 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 3,2 mm.

Os histogramas associados localizam-se no anexo G.

Secção tipo 3 – Parâmetro Alinhamento

Segundo o histograma da secção tipo 3 – Alinhamento – Curva de transição:

- Maior frequência surge para a diferença 0,2 mm (230 elementos), com % acumulada de 11,34;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 5,5 mm, com % acumulada 98,75;
- Diferença de 3,0 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 92,02;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,02 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 5,6 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 3 – Alinhamento – Curva Circular:

- Maior frequência surge para a diferença 0,3 mm (293 elementos), com % acumulada de 15,26;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 7,3 mm, com % acumulada 99,70;
- Diferença de 2,8 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 87,74;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,19 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 5,8 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 3 – Alinhamento – Alinhamento Recto:

- Maior frequência surge para a diferença 0,3 mm (268 elementos), com % acumulada de 20,25;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 4,6 mm, com % acumulada 97,30;
- Diferença de 2,6 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 91,64;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,06 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 9,2 mm.

Os histogramas associados localizam-se no anexo H.

Secção tipo 3 – Parâmetro Nivelamento Longitudinal

Segundo o histograma da secção tipo 3 – Nivelamento Longitudinal – Curva de transição:

- Maior frequência surge para a diferença 0,5 mm (260 elementos), com % acumulada de 29,54;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 6,2 mm, com % acumulada 99,52;
- Diferença de 2,7 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 91,95;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,09 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 5,4 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 3 – Nivelamento Longitudinal – Curva Circular:

- Maior frequência surge para a diferença 0,3 mm (292 elementos), com % acumulada de 17,33;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 6,9 mm, com % acumulada 99,70;
- Diferença de 2,7 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 91,33;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,05 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 5,6 mm.

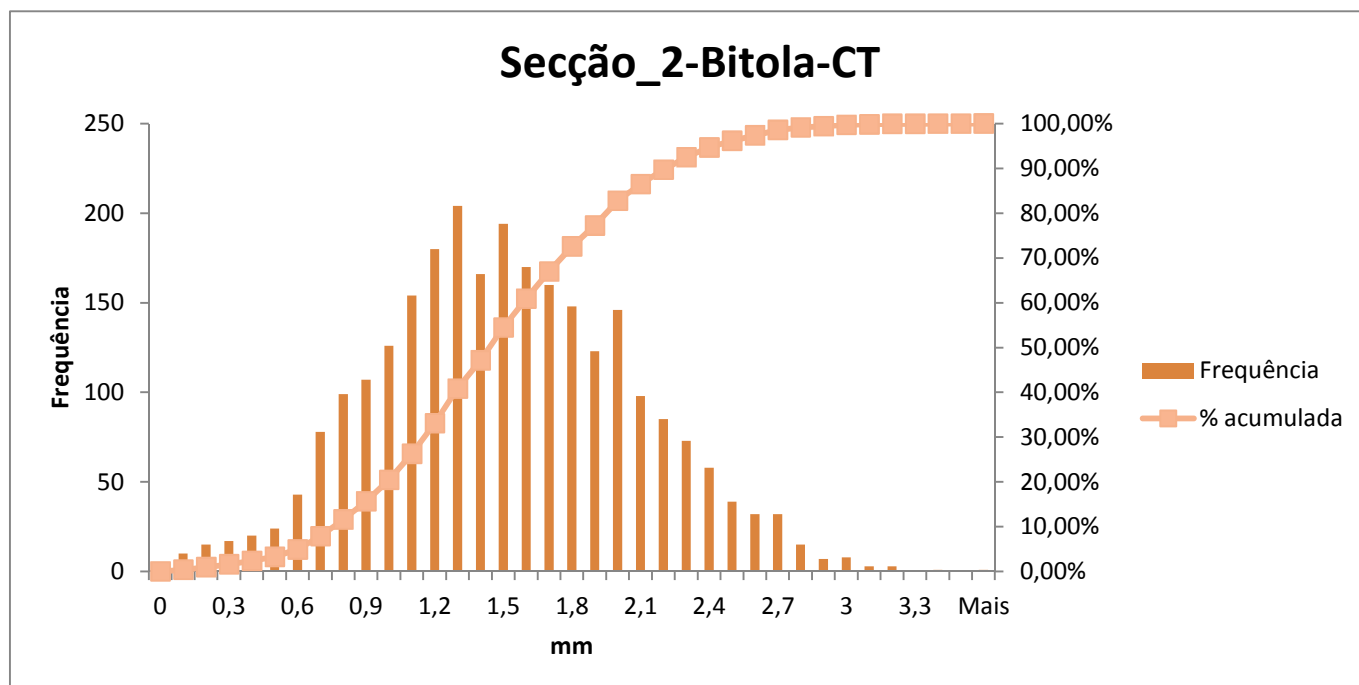
Segundo o histograma da secção tipo 3 – Niv. Longitudinal – Alinhamento Recto:

- Maior frequência surge para a diferença 0,7 mm (223 elementos), com % acumulada de 37,49;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 6,4 mm, com % acumulada 98,95;
- Diferença de 2,6 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 88,42;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,06 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 6,6 mm.

Os histogramas associados localizam-se no anexo I.

Secção tipo 2 – Parâmetro Bitola

Apresenta-se em seguida o histograma 4, 5 e 6, relativo à secção tipo 2, parâmetro bitola ao longo dos três elementos de traçado.

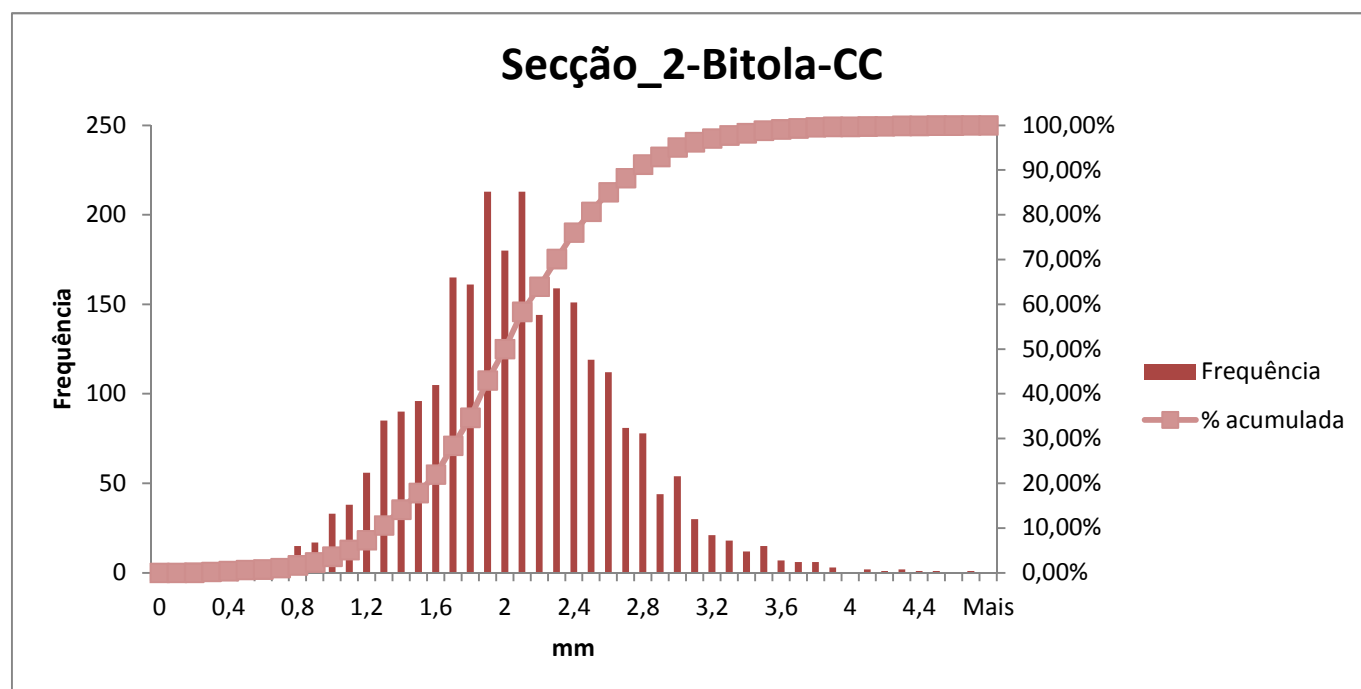


Histograma 4 – Secção tipo 2, parâmetro bitola ao longo da curva de transição

Ao longo da secção tipo 2 existem dois acontecimentos. Analisando a zona onde se localizam as cróssimas não se verifica alterações significativas.

Segundo o “histograma 4” verifica-se o seguinte:

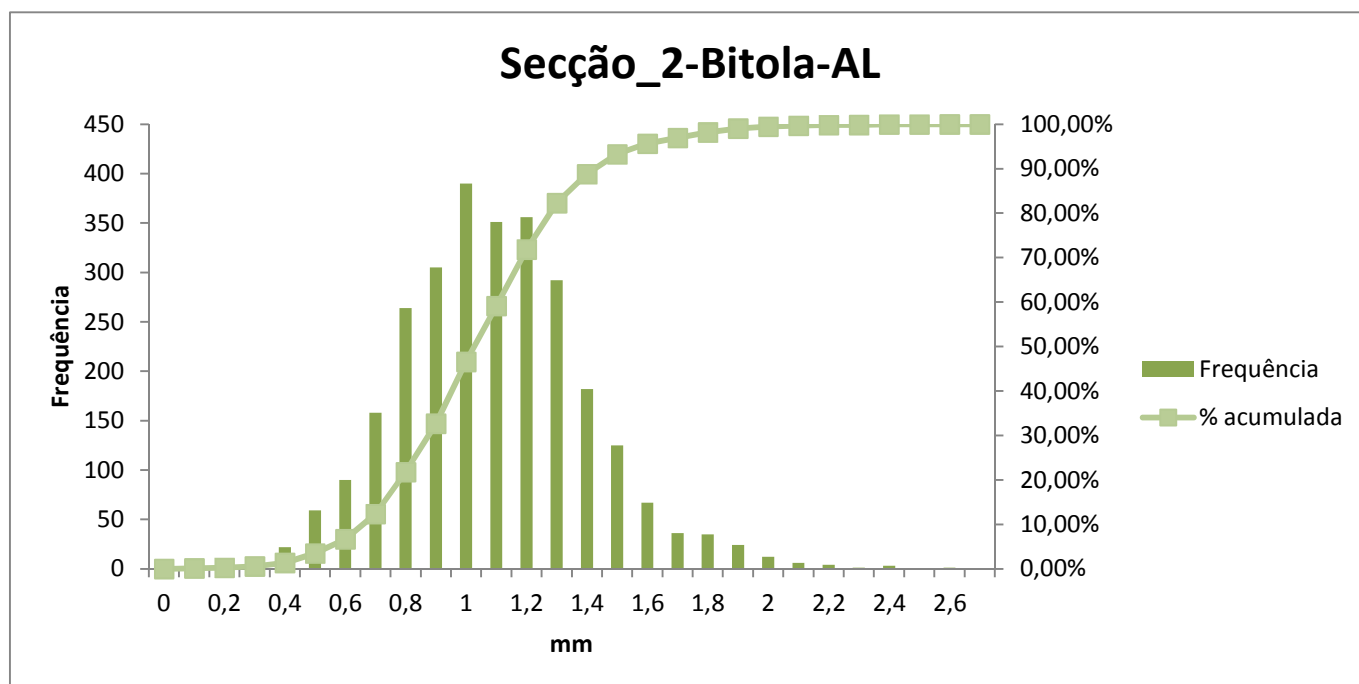
- Maior frequência surge para a diferença 1,3 mm (204 elementos), com % acumulada de 40,83;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 3,3 mm, com % acumulada de 99,92;
- Diferença de 2,7 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada de 98,56;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,39 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 2,9 mm.



Histograma 5 – Secção tipo 2, parâmetro bitola ao longo da curva circular

Segundo o “histograma 5” verifica-se o seguinte:

- Maior frequência surge para a diferença 2,1 mm (213 elementos), com % acumulada de 43,00;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 0,1 mm, com % acumulada de 0,00;
- Diferença de 3,1 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada de 96,25;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,34 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 3,7 mm.



Histograma 6 – Secção tipo 2, parâmetro bitola ao longo do alinhamento recto

Segundo o “histograma 6” verifica-se o seguinte:

- Maior frequência surge para a diferença 1,0 mm (390 elementos), com % acumulada de 46,59;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 2,5 mm, com % acumulada de 99,96;
- Diferença de 1,8 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada de 98,18;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,46 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 2,0 mm.

Secção tipo 2 – Parâmetro Empeno

Segundo o histograma da secção tipo 2 – Empeno – Curva de transição:

- Maior frequência surge para a diferença 0,2 mm (417 elementos), com % acumulada de 30,87;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 2,5 mm, com % acumulada 99,70;
- Diferença de 1,4 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 96,29;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,36 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 2,2 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 2 – Empeno – Curva circular:

- Maior frequência surge para a diferença 0,3 mm (360 elementos), com % acumulada de 42,29;
- Não existe frequência igual a zero;
- Diferença 1,4 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 96,18;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,30 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 2,1 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 2 – Empeno – Alinhamento recto:

- Maior frequência surge para a diferença 0,2 mm (515 elementos), com % acumulada de 36,91;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 1,9 mm, com % acumulada 99,86;
- Diferença de 1,1 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 97,53;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,29 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,4 mm.

Os histogramas associados localizam-se no anexo J.

Secção tipo 2 – Parâmetro Nivelamento Transversal

Segundo o histograma da secção tipo 2 – Nivelamento Transversal – Curva de transição:

- Maior frequência surge para a diferença 0,2 mm (355 elementos), com % acumulada de 39,70;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 2,3 mm, com % acumulada 99,89;
- Diferença de 1,3 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 97,31;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,39 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,8 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 2 – Nivelamento Transversal – Curva de circular:

- Maior frequência surge para a diferença 0,3 mm (359 elementos), com % acumulada de 41,01;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 2,1 mm, com % acumulada 99,49;
- Diferença de 1,3 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 97,23;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,18 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,8 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 2 – Niv. Transversal – Alinhamento Recto:

- Maior frequência surge para a diferença 0,3 mm (317 elementos), com % acumulada de 32,87;
- Não existe frequência igual a zero;
- Diferença de 1,2 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 97,43;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,57 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,6 mm.

Os histogramas associados localizam-se no anexo L.

Secção tipo 2 – Parâmetro Alinhamento

Segundo o histograma da secção tipo 2 – Alinhamento – Curva de transição:

- Maior frequência surge para a diferença 0,2 mm (227 elementos), com % acumulada de 16,59;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 3,6 mm, com % acumulada 98,94;
- Diferença de 2,1 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 95,30;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,09 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 3,8 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 2 – Alinhamento – Curva Circular:

- Maior frequência surge para a diferença 0,3 mm (244 elementos), com % acumulada de 28,33;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 2,6 mm, com % acumulada 99,84;
- Diferença de 1,8 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 96,22;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,26 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 2,3 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 2 – Alinhamento – Alinhamento Recto:

- Maior frequência surge para a diferença 0,2 mm (368 elementos), com % acumulada de 26,05;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 2,2 mm, com % acumulada 99,82;
- Diferença de 1,5 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 97,00;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,46 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,9 mm.

Os histogramas associados localizam-se no anexo M.

Secção tipo 2 – Parâmetro Nivelamento Longitudinal

Segundo o histograma da secção tipo 2 – Nivelamento Longitudinal – Curva de transição:

- Maior frequência surge para a diferença 0,3 mm (321 elementos), com % acumulada de 36,48;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 2,9 mm, com % acumulada 99,70;
- Diferença de 1,2 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 95,04;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,20 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 2,4 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 2 – Nivelamento Longitudinal – Curva Circular:

- Maior frequência surge para a diferença 0,2 mm (381 elementos), com % acumulada de 29,89;
- Não existe frequência igual a zero;
- Diferença de 1,3 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 96,45;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,30 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,7 mm.

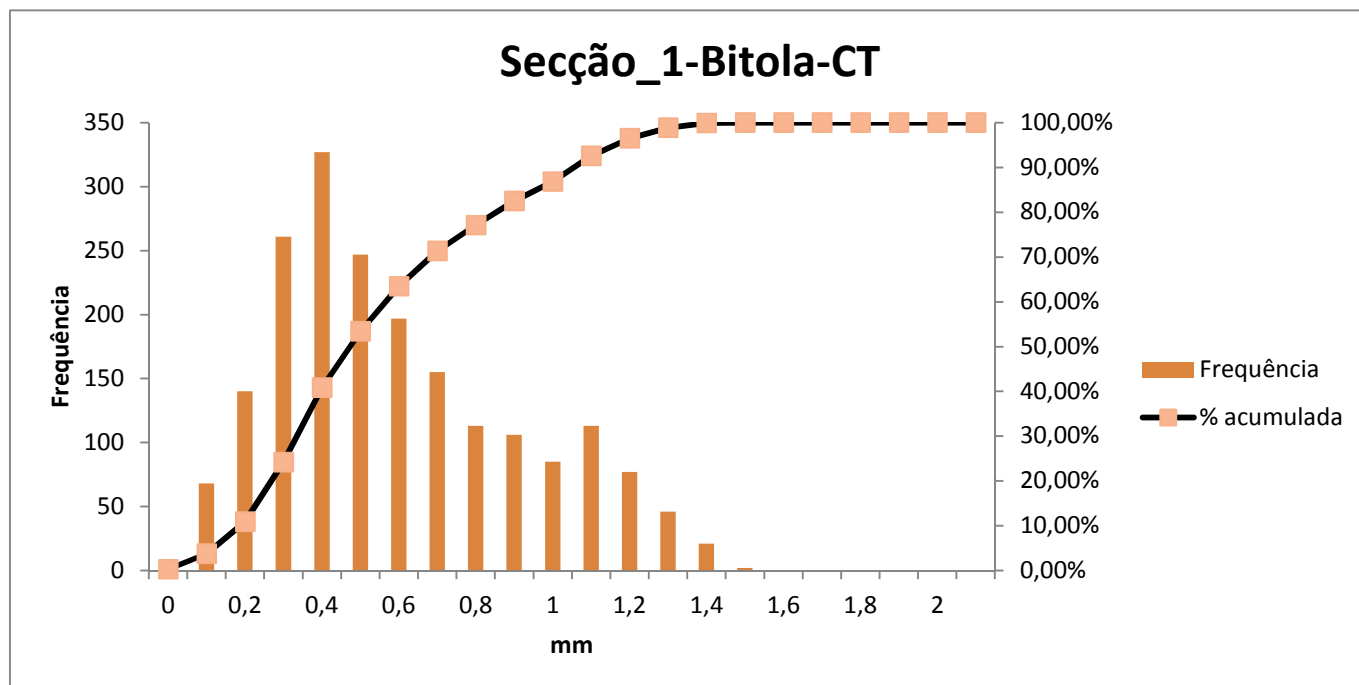
Segundo o histograma da secção tipo 2 – Nivelamento Longitudinal – Alinhamento Recto:

- Maior frequência surge para a diferença 0,2 mm (477 elementos), com % acumulada de 15,76;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 2,0 mm, com % acumulada 99,50;
- Diferença de 1,1 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 97,00;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,18 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,6 mm.

Os histogramas associados localizam-se no anexo N.

Secção tipo 1 – Parâmetro Bitola

Apresenta-se em seguida o histograma 7, 8 e 9, relativo à secção tipo 1, parâmetro bitola ao longo dos três elementos de traçado.



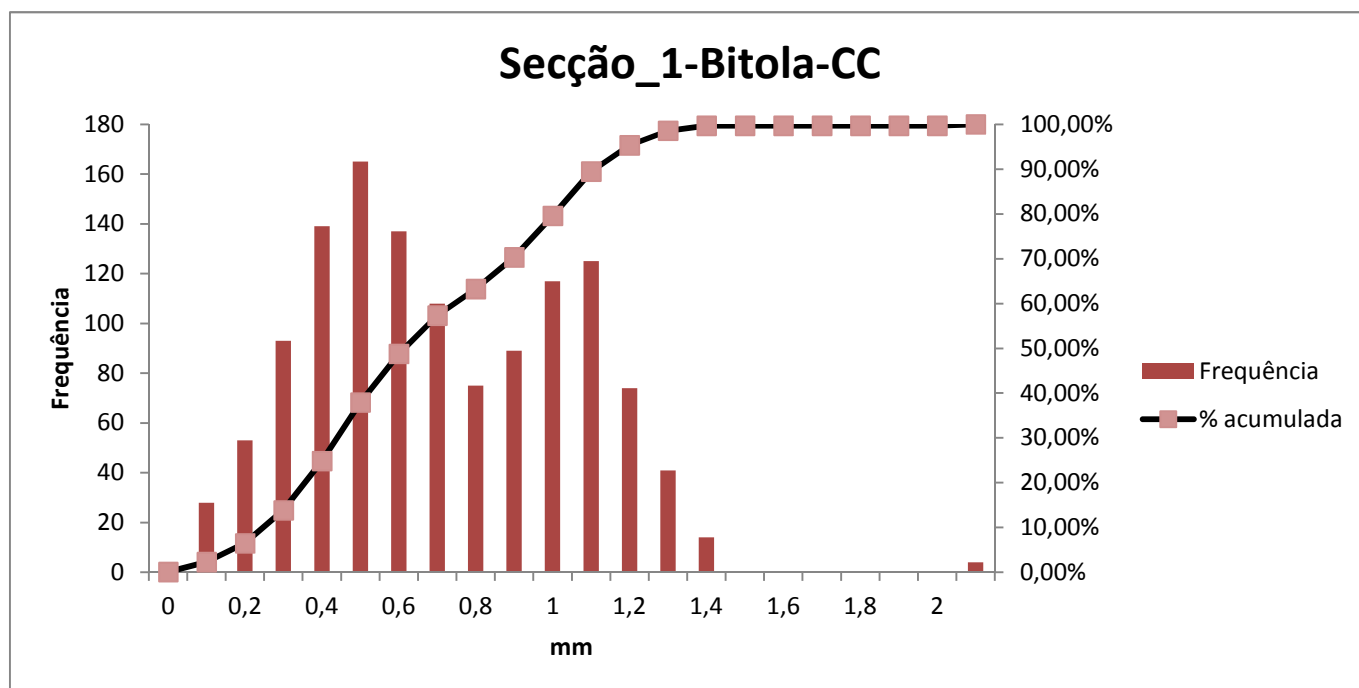
Histograma 7 – Secção tipo 1, parâmetro bitola ao longo da curva de transição

Ao longo da secção tipo 1 existem somente um acontecimento, devido a uma passagem superior na 2ª curva circular.

Analisando o output da EM-120 este ponto singular não se verifica oscilações bruscas em nenhum dos parâmetros recolhidos

Segundo o “histograma 7” verifica-se o seguinte:

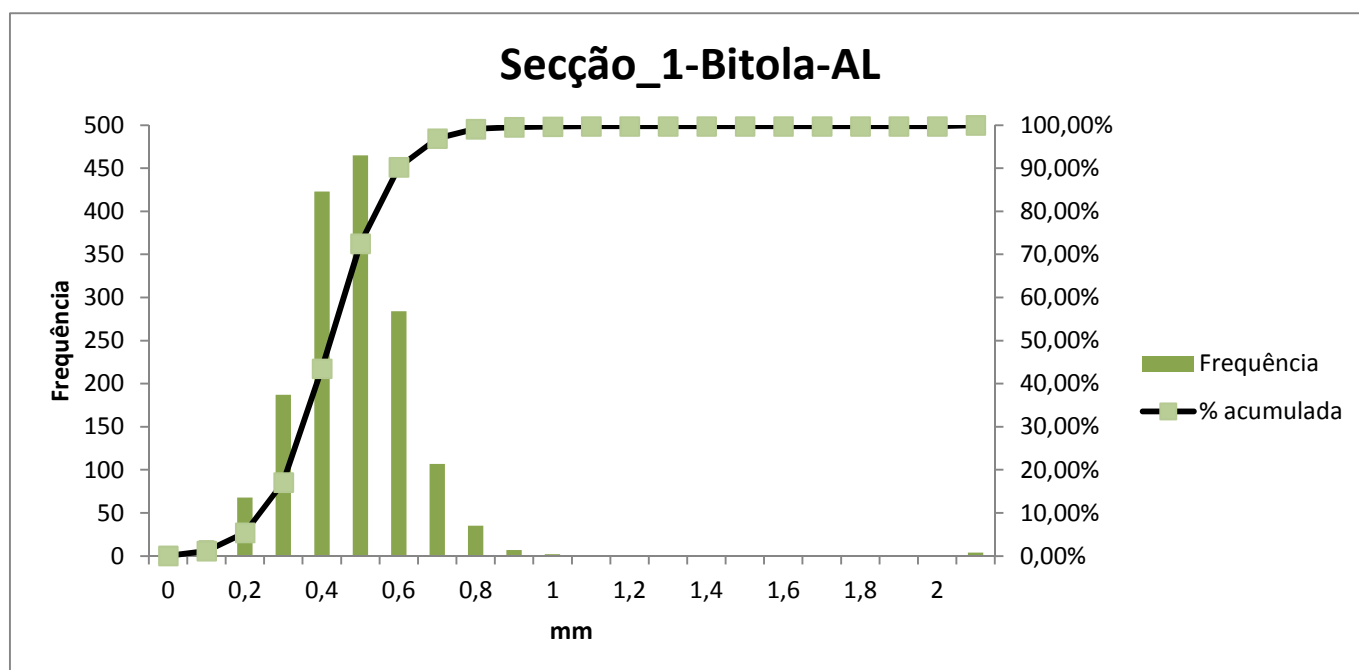
- Maior frequência surge para a diferença 0,4 mm (327 elementos), com % acumulada de 40,84;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 1,6 mm, com % acumulada de 100,00;
- Diferença de 1,4 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada de 99,90;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 100,00 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,5 mm.



Histograma 8 – Secção tipo 1, parâmetro bitola ao longo da curva circular

Segundo o “histograma 8” verifica-se o seguinte:

- Maior frequência surge para a diferença 0,5 mm (165 elementos), com % acumulada de 37,93;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 1,5 mm, com % acumulada de 100,00;
- Diferença de 1,3 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada de 98,57;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,68 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,5 mm.



Histograma 9 – Secção tipo 1, parâmetro bitola ao longo do alinhamento recto

Segundo o “histograma 9” verifica-se o seguinte:

- Maior frequência surge para a diferença 0,5 mm (465 elementos), com % acumulada de 72,53;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 1,2 mm, com % acumulada de 99,75;
- Diferença de 0,8 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada de 99,13;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,56 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 0,9 mm.

Secção tipo 1 – Parâmetro Empeno

Segundo o histograma da secção tipo 1 – Empeno – Curva de transição:

- Maior frequência surge para a diferença 0,1 mm (871 elementos), com % acumulada de 47,35;
- Não existe frequência igual a zero;
- Diferença de 0,5 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 96,89;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,75 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,0 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 1 – Empeno – Curva circular:

- Maior frequência surge para a diferença 0,1 mm (539 elementos), com % acumulada de 46,08;
- Não existe frequência igual a zero;
- Diferença 0,6 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 98,34;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,21 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 0,8 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 1 – Empeno – Alinhamento recto:

- Maior frequência surge para a diferença 0,1 mm (775 elementos), com % acumulada de 49,38;
- Não existe frequência igual a zero;
- Diferença de 0,5 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 99,44;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,94 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 0,6 mm.

Os histogramas associados localizam-se no anexo O.

Secção tipo 1 – Parâmetro Nivelamento Transversal

Segundo o histograma da secção tipo 1 – Nivelamento Transversal – Curva de transição:

- Maior frequência surge para a diferença 0,2 mm (211 elementos), com % acumulada de 11,79;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 2,3 mm, com % acumulada 99,75;
- Diferença de 1,6 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 98,32
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,44 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,9 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 1 – Nivelamento Transversal – Curva de circular:

- Maior frequência surge para a diferença 0,1 mm (150 elementos), com % acumulada de 12,03;
- Não existe frequência igual a zero;
- Diferença de 1,9 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 98,26;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,68 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 2,1 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 1 – Nivelamento Transversal – Alinhamento Recto:

- Maior frequência surge para a diferença 1,0 mm (256 elementos), com % acumulada de 67,42;
- Não existe frequência igual a zero;
- Diferença de 1,5 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 99,50;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,94 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,6 mm.

Os histogramas associados localizam-se no anexo P.

Secção tipo 1 – Parâmetro Alinhamento

Segundo o histograma da secção tipo 1 – Alinhamento – Curva de transição:

- Maior frequência surge para a diferença 0,2 mm (362 elementos), com % acumulada de 36,51;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 1,6 mm, com % acumulada 99,39;
- Diferença de 1,2 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 98,52;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,34 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,4 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 1 – Alinhamento – Curva Circular:

- Maior frequência surge para a diferença 0,2 mm (240 elementos), com % acumulada de 36,10;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 1,5 mm, com % acumulada 99,60;
- Diferença de 0,9 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 97,23;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,52 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,3 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 1 – Alinhamento – Alinhamento Recto:

- Maior frequência surge para a diferença 0,1 mm (481 elementos), com % acumulada de 30,40;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 1,2 mm, com % acumulada 99,00;
- Diferença de 0,7 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 97,07;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,13 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,3 mm.

Os histogramas associados localizam-se no anexo Q.

Secção tipo 1 – Parâmetro Nivelamento Longitudinal

Segundo o histograma da secção tipo 1 – Nivelamento Longitudinal – Curva de transição:

- Maior frequência surge para a diferença 0,1 mm (523 elementos), com % acumulada de 27,14;
- Não existe frequência igual a zero;
- Diferença de 0,8 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 97,61;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,44 de percentagem acumulada correspondendo à diferença 1,2 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 1 – Nivelamento Longitudinal – Curva Circular:

- Maior frequência surge para a diferença 0,1 mm (341 elementos), com % acumulada de 27,47;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 1,8 mm, com % acumulada 99,37;
- Diferença de 0,9 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 96,91;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,13 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,6 mm.

Segundo o histograma da secção tipo 1 – Nivelamento Longitudinal – Alinhamento Recto:

- Maior frequência surge para a diferença 0,1 mm (442 elementos), com % acumulada de 28,15;
- 1º Frequência igual a zero elementos surge para a diferença de 1,7 mm, com % acumulada 99,56;
- Diferença de 0,7 mm regista a ultima frequência superior ou igual a 1% do total dos elementos associados à curva de transição, com % acumulada 96,88;
- Sendo desprezável 1% do total de elementos, atinge-se sensivelmente 99,19 de percentagem acumulada correspondendo à diferença de 1,4 mm.

Os histogramas associados localizam-se no anexo R. Analisados os histogramas, segue-se o capítulo designado por Discussão onde serão feitas inferências, conjecturas e opiniões sobre os resultados.

Capítulo 4 - Discussão

As questões que se colocam são as seguintes:

Como é possível comparar dados recolhidos por sistemas de medição distintos, uma vez que, o EM 120 faz a medição com tecnologia sem contacto físico com a via, enquanto o Trólei faz a medição em contacto directo com a mesma?

Haverá relação entre os dados recolhidos por um veículo de inspecção de via que simula as condições a que a via está sujeita (12.500 Kg/eixo), e um equipamento com um peso total de 30 Kg?

Os dados recolhidos pelo EM 120 podem ser directamente impressos, ou digitalizados em formato pdf., enquanto os dados do Trólei necessitam de ser tratados pelo seu software específico. Isto acontece, devido ao modo de recolha dos dados através de cordas com um comprimento total de 2,1 metros, ou seja, duas semi-cordas de 1,1 e 1,0 metros. Relativamente ao Empeno é feito na base de 0,9 metros enquanto o empeno no EM 120 é feito na base de 3 metros Os dados recolhidos pelo Krab Light devem ser carregados num sistema informático de modo a ser processados em software específico, transformando os dados de acordo com as normas Europeias, e de forma a que sejam comparáveis com os dados recolhidos pelo VIV02 EM 120.

Todo este processo de tratamento de dados do Krab Light pode exercer de algum modo a acumulação de erros residuais, no entanto não foi possível verificar, se a transformação de dados provoca erros significativos, ou até mesmo a sua existência.

Os dados são analisadas do seguinte modo:

Bitola, Empeno e Nivelamento Transversal são parâmetros geométricos com valores conhecidos e que devem ser mantidos ao longo da exploração de determinado troço de acordo com os valores de projecto, ou seja, estes parâmetros são tratados como absolutos.

Nivelamento Longitudinal e Alinhamento são parâmetros geométricos com valores conhecidos, no entanto não são mantidos ao longo do período de exploração. Estes parâmetros são tratados como relativos. O importante ao longo dos vários trabalhos que são desenvolvidos em correcções de defeitos, renovações de via, substituição de determinados elementos deve cingir-se a criar condições de exploração que permitam maior duração possível quer à superestrutura quer ao material circulante. Assim

asseguram-se viagens cómodas para os passageiros e rápida transição no transporte de mercadorias.

Em relação à segunda questão, os meios de inspecção da via devem ser utilizados em situações específicas, de acordo com as suas características. Assim compreende-se que a utilização de ambos (VIV02 EM-120 e Krab) sobre os mesmos troços não se justifica, a não ser para comparação de dados, análise de resultados e estudos das suas capacidades.

Como relatado pelo Especialista Sr. Artur Lino, com vasta experiência sobre o VIV02 EM 120 e Krab, é difícil poder comparar os dados entre ambos.

A razão subjacente e principal reside no peso que é aplicado à via. Sendo uma infra-estrutura composta por um sistema elástico, recolher dados com a via carregada, ou com a via descarregada é diferente. Existem casos específicos em que o Trólei, devido a não aplicar carga sobre a via, não mede o mesmo defeito que o EM 120. Por exemplo, é-lhe impossível detectar travessas dançantes, ou seja, travessas que, devido às características e estado do balastro, não possuam encastramento suficiente e que, á passagem de cargas sobre a via, se deslocam ligeiramente da sua posição, provocando oscilações do carril, que por sua vez, causam defeitos de bitola e seguidamente de alinhamento. Um exemplo contrário, em que o Trólei assume uma correcta inspecção da via, tem, a ver com o caso das inspecções a pé que possibilitam verificar o estado das travessas, fixações e carris.

A nível dos defeitos geométricos, uma vez que os excessos de bitola podem ser desencadeados ao executar uma recolha de dados com a via em carga, provavelmente o VIV02 EM 120, detecta melhor estas situações devido ao seu peso.

Em termos de aperto de bitola provavelmente o Krab Light executa um trabalho mais rigoroso uma vez que o seu singelo peso identifica o parâmetro geométrico sem o modificar. Obviamente que este facto não é no caso geral, importante pois em condições de exploração a via está sempre sujeita a carga.

O conceito de carga aplicada sobre a via, levanta outra questão. No caso de via modernas com travessas mono-bloco, consoante o espaçamento das mesmas, podem receber, transmitir e degradar cargas até 25 toneladas/eixo, enquanto o VIV02 EM 120 aplica somente 12,5 toneladas/eixo, em média.

Análise de dados sobre os histogramas

Tendo em conta o facto de objectivamente serem comparadas três secções tipo com superestruturas diferentes entre si, devem ser verificadas todas as suas características.

Assim consoante os dados referidos no subcapítulo 3.1 verifica-se o seguinte:

Entre as secções tipo 1 e 2, a classe de velocidade é a mesma Classe II com ($160 < V \leq 230$ km/h). Deste modo segundo ITVIA 018, o desvio padrão (mm) será para o nivelamento longitudinal 1,9 e para o alinhamento 1,1.

A secção tipo 3 tem Classe V ($40 < V \leq 80$ km/h). Deste modo segundo ITV 018, o desvio padrão (mm) será para o nivelamento longitudinal 3,0 e para o alinhamento 1,8.

Relativamente aos elementos físicos existe o mesmo tipo de fixações e os mesmos elementos de traçado nas três secções tipo.

De acordo com o tipo das secções e as superestruturas esperam-se melhores correlações de dados na secção tipo 1 e pior correlação na secção tipo 3, devido ao tipo de travessa usado e tipo de carril.

A secção tipo 1 representa as novas concepções de infra-estruturas, a secção tipo 2 representa actualmente a maior cobertura da Rede Ferroviária Nacional, e a secção tipo 3 representa antigas concepções com travessas em madeira e barra curta, o tipo de secção característico da via estreita, mas também de alguns quilómetros da rede principal, secundária e complementar.

No que diz respeito ao elemento de traçado obviamente que a melhor correlação de modo geral deve ser conseguida em alinhamento recto e a pior correlação será ao longo das curvas de transição ou curvas circulares.

Através dos dados relatados no subcapítulo 3.2 Testes/Ensaio são feitas seguidamente inferências e conjecturas sobre as medições do VIV02 EM-120 e Krab Light.

Parâmetro Bitola

De modo a analisar a percentagem acumulada através das várias diferenças entre medições, comparativamente entre o veículo e o equipamento, por parâmetros geométricos apresentam-se as seguintes tabelas 14, 15 e 16 relativamente ao parâmetro geométrico bitola.

Tabela 14 – Secção tipo 1, percentagem acumulada

Diferenças entre medições	Curva de Transição	Curva Circular	Alinhamento Recto
0,5 mm	53,41	37,93	72,53
1 mm	86,81	79,57	99,69
1,5 mm	100	99,68	99,75

Tabela 15 – Secção tipo 2, percentagem acumulada

Diferenças entre medições	Curva de Transição	Curva Circular	Alinhamento Recto
0,5 mm	3,30	0,66	3,47
1 mm	20,45	3,63	46,59
2 mm	82,77	50,02	99,46
3 mm	99,70	95,08	2,6 (100)

Tabela 16 – Secção tipo 3, percentagem acumulada

Diferenças entre medições	Curva de Transição	Curva Circular	Alinhamento Recto
0,5 mm	32,06	30,42	20,80
1 mm	55,24	51,47	41,84
2 mm	81,07	81,20	75,06
3 mm	91,43	94,81	91,90

A bitola como se pode comparar nos dados extraídos dos histogramas sobre as diferentes secções tipo é um parâmetro não homogéneo em relação à diferença entre medições. Não se verifica variações semelhantes quer entre secções tipo, quer entre elementos de traçado. A relação é mais significativa na secção tipo 1 e 2.

Na secção tipo 3 a variação da diferença dos dados recolhidos torna-se mais recíproca.

Por observação dos gráficos produzidos pelo EM 120, pode-se analisar os valores do parâmetro bitola na secção tipo 1 e 2, que evidenciam uma diferença. A diferença reside no facto de o referido parâmetro na secção tipo 1, registar ao longo da secção

analisada, defeito por excesso de bitola. No caso da secção tipo 2, contrariamente verifica-se defeito por aperto de bitola.

Na concepção da superestrutura é imposto um determinado tombo na colocação dos carris, independente do tipo de travessa. A razão para se registar constantemente excesso de bitola na secção tipo 1, tem a ver com o tipo de travessas serem monobloco, e o defeito por aperto de bitola ser mais gravoso do que excesso ao nível correctivo.

Na secção tipo 2 o parâmetro bitola regista na maioria das leituras defeito por aperto em alinhamento recto, como se pode verificar no output EM 120. Entre KM 166.000 e KM167.300, por observação do gráfico. Este facto está associado directamente ao tipo de travessa. A travessa bi-bloco, que tem como desvantagem do seu uso, permite a ocorrência de assentamentos diferenciais, flexão da cantoneira e apresenta dificuldade em manter a bitola.

Este facto pode ser provado através dos dados recolhidos pelo EM 120 e pelo Krab.

Graficamente verifica-se que os valores registados pelo Krab são sempre inferiores aos valores do EM-120, para o parâmetro bitola, em geral. No entanto na secção tipo 2 além de se registar na maioria dos pontos defeitos por aperto a diferença entre dados recolhidos acentua-se.

Na secção tipo 1 verifica-se uma eficácia de medição segundo o alinhamento recto, em detrimento das medições da curva circular. Diferença de 0,5 mm mostra que em alinhamento recto garante-se 72,53 % enquanto em curva circular atinge-se os 37,93 % de percentagem acumulada, como pior resultado. A curva de transição toma um valor médio de percentagem acumulada. A 1,5 mm atinge-se a quase totalidade de diferença entre medições, como resultado bastante fiável.

Na secção tipo 2 o elemento de traçado com menor diferença entre medições é o alinhamento recto, à semelhança da secção tipo, registando 1 mm de diferença entre medições regista-se 46,59 % de percentagem acumulada. Aos 2 mm mantêm-se com melhor correlação o alinhamento recto (99,46 %), em detrimento da curva circular com 50,02 %, como pior correlação na secção tipo2.

Na secção tipo 3 segundo os valores de percentagem acumulada para 0,5 mm de diferença entre medições, são idênticos para a curva de transição e curva circular. No alinhamento recto surge a menor percentagem acumulada, inicialmente.

A 2mm de diferença entre medições regista-se homogeneidade entre as percentagens acumuladas para todos os elementos de traçado, e assim se mantêm até ao final.

Se na secção tipo 1 a percentagem acumulada ronda os 100 % para uma diferença de medições de 1,5 mm, na secção tipo 2 para se atingir a mesma percentagem acumulada a diferença de medições corresponde a 3 mm. Na secção tipo 3 aos 3 mm de diferença entre medições atinge-se somente os 92 % de percentagem acumulada.

A nível dos elementos de traçado que melhor exprime correlação de dados, ou seja, que tem a menor das diferenças entre medições é o alinhamento recto.

Parâmetro Empeno

Apresentam-se as seguintes tabelas 17, 18 e 19 relativamente ao parâmetro geométrico empeno.

Tabela 17 – Secção tipo 1, percentagem acumulada

Diferenças entre medições	Curva de Transição	Curva Circular	Alinhamento Recto
0,5 mm	96,89	96,91	99,44
1 mm	99,75	99,37	0,7mm (100)
1,5 mm	1,1 mm (100)	1,4mm (100)	-

Tabela 18. – Secção tipo 2, percentagem acumulada

Diferenças entre medições	Curva de Transição	Curva Circular	Alinhamento Recto
0,5 mm	66,67	64,18	76,31
1 mm	90,72	89,35	95,86
2 mm	98,94	99,10	99,93
3 mm	99,85	2,8 (100)	2,2mm (100)

Tabela 19 – Secção tipo 3, percentagem acumulada

Diferenças entre medições	Curva de Transição	Curva Circular	Alinhamento Recto
0,5 mm	37,44	38,97	39,30
1 mm	64,18	63,55	66,71
2 mm	88,78	88,71	90,62
3 mm	96,51	96,11	97,64

O parâmetro empeno ao nível das diferenças entre medições mantém-se homogéneo segundo os elementos de traçado. A secção tipo 1 é a única em que verifica-se predominância de menor diferença segundo o alinhamento recto, em que, a amplitude máxima de diferença surge para 0,7 mm e no caso mais desfavorável, na curva circular surge para 1,4 mm. A curva de transição mantém-se como elemento de traçado intermédio ao nível da diferença entre medições.

Este é o melhor resultado de todas as comparações feitas segundo elementos de traçado, mostrando que ambas medições podem ser consideradas fiáveis.

Na secção tipo 2 a relação entre elementos de traçado mantém-se a mesma, registada na secção tipo 1, apesar das amplitudes das diferenças de medições aumentarem para a menor diferença ser 2,2 mm e o pior caso ultrapassa os 3 mm.

Na secção tipo 3, caso idêntico às secções anteriores, diminuindo novamente a percentagem acumulada para o mesmo intervalo de diferenças de medições. Existe grande homogeneidade das percentagens acumuladas entre diferentes elementos, sendo que, 89 % dos valores entre medições registam 2 mm de diferença.

Entre os elementos de traçado o que melhor exprime correlação de dados, ou seja, que tem a menor das diferenças entre medições mantém-se à semelhança do parâmetro bitola, o alinhamento recto.

Parâmetro Nivelamento Transversal

Apresentam-se as seguintes tabelas 20, 21 e 22 relativamente ao parâmetro geométrico nivelamento transversal.

Tabela 20 – Secção tipo 1, percentagem acumulada

Diferenças entre medições	Curva de Transição	Curva Circular	Alinhamento Recto
0,5 mm	47,40	38,16	5,99
1 mm	81,67	63,58	67,42
1,5 mm	97,20	90,97	99,50
2 mm	99,54	99,13	1,7 mm (100)

Tabela 21 – Secção tipo 2, percentagem acumulada

Diferenças entre medições	Curva de Transição	Curva Circular	Alinhamento Recto
0,5 mm	63,98	62,74	53,52
1 mm	92,23	91,49	91,87
2 mm	99,70	99,49	100
3 mm	2,9 mm (100)	2,7 mm (100)	-

Tabela 22 – Secção tipo 3, percentagem acumulada

Diferenças entre medições	Curva de Transição	Curva Circular	Alinhamento Recto
0,5 mm	39,33	28,49	42,07
1 mm	67,49	54,08	71,00
2 mm	92,46	86,22	94,26
3 mm	98,45	96,19	99,08

O nivelamento transversal é um parâmetro que em alinhamento recto deve rondar o valor 0 mm. Deste modo ao longo do alinhamento recto torna-se mais fácil de encontrar defeitos geométricos, do que nos locais de transição em que ocorre uma modificação da parâmetro até atingir determinado valor teórico de acordo com o raio da curva circular e extensão da curva de transição.

De acordo com os dados verifica-se na secção tipo 1, que na curva de transição atingem-se percentagens acumuladas maiores para menores valores de diferença entre medições, em que para 0,5 mm correspondem 47,40 %, enquanto segundo o alinhamento corresponde somente 5,99 %. Esta diferença substancial atenua-se à medida que aumenta a diferença entre medições. Se analisarmos qual o valor de diferença entre medições para o qual se atinge sensivelmente 99,50 % de percentagem acumulada, constata-se que em alinhamento recto atinge-se para 1,5 mm, enquanto em curva de transição atinge-se para 2 mm. Verifica-se que ocorreu uma inversão significativa ao longo do alinhamento recto, uma vez que, inicialmente era o elemento de traçado com pior correlação, e termina com melhor correlação, atingindo 100 % para 1,7 mm.

A nível das amplitudes entre secção 1 e 2, para 2 mm as percentagens acumuladas são praticamente idênticas. Para as diferenças entre medições de 0,5 mm e 1 mm, verifica-se que a secção tipo 2 têm percentagens acumuladas mais elevadas que a secção tipo 1.

Na secção tipo 2 existe grande homogeneidade das percentagens acumuladas entre diferentes elementos, apesar de o alinhamento recto continuar a prevalecer, com melhor correlação.

N a secção tipo 3 regista-se o alinhamento recto com melhor correlação, em seguida a curva de transição e finalmente a curva circular. Regista-se que a 2 mm de diferença entre medições têm-se uma percentagem acumulada média, de 91 %.

Parâmetro Alinhamento

Apresentam-se as seguintes tabelas 23, 24 e 25 relativamente ao parâmetro geométrico alinhamento.

Tabela 23 – Secção tipo 1, percentagem acumulada

Diferenças entre medições	Curva de Transição	Curva Circular	Alinhamento Recto
0,5 mm	77,14	78,31	91,57
1 mm	95,88	97,86	98,81
1,5 mm	99,39	99,60	99,31
2 mm	100	99,68	99,63

Tabela 24 – Secção tipo 2, percentagem acumulada

Diferenças entre medições	Curva de Transição	Curva Circular	Alinhamento Recto
0,5 mm	38,94	44,09	55,88
1 mm	68,71	75,46	86,67
2 mm	94,20	97,78	99,57
3 mm	98,41	99,96	2,8 mm (100)
4,0 mm	99,20	3,1 mm (100)	-

Tabela 25 – Secção tipo 3, percentagem acumulada

Diferenças entre medições	Curva de Transição	Curva Circular	Alinhamento Recto
0,5 mm	26,21	25,39	31,62
1 mm	48,29	48,51	56,77
2 mm	78,30	77,00	84,57
3 mm	92,02	89,28	94,21

No alinhamento verifica-se em primeira análise na secção tipo 1 diferença significativa entre os elementos de traçado.

Na secção tipo 1 verifica-se uma eficácia de medição segundo o alinhamento recto, em detrimento das medições da curva transição. Para a diferença de 0,5 mm, mostra-se que em alinhamento recto garante-se 91,57 % enquanto em curva transição atinge-se os 77,14 % de percentagem acumulada, semelhante ao que se passa na curva circular. A 1,0 mm atinge-se resultados idênticos independentemente dos elementos de traçado com um valor médio de diferença de 99,45 % de percentagem acumulada.

Na secção tipo 2, o alinhamento recto prevalece sobre os outros elementos, no entanto, ocorre uma alteração. A curva circular regista maiores percentagens acumuladas em relação à curva de transição.

Na secção tipo 3, a melhor correlação mantém-se no alinhamento recto. Entre a curva circular e a curva de transição para as mesmas diferenças entre medições existe homogeneidade entre as percentagens acumuladas.

A nível das amplitudes máximas de diferença aumentam significativamente da secção tipo 1 para a 2 e 3, em que se regista em média 99 % para a diferença de 3 mm na secção tipo 2 e 92 % na secção tipo 3 de percentagem acumulada.

Parâmetro Nivelamento Longitudinal

Apresentam-se as seguintes tabelas 26, 27 e 28 relativamente ao parâmetro geométrico nivelamento longitudinal.

Tabela 26 – Secção tipo 1, percentagem acumulada

Diferenças entre medições	Curva de Transição	Curva Circular	Alinhamento Recto
0,5 mm	88,34	86,46	89,89
1 mm	98,88	97,47	98,38
1,5 mm	99,95	99,05	99,44
2 mm	1,6mm (100)	99,52	99,81

Tabela 27 – Secção tipo 2, percentagem acumulada

Diferenças entre medições	Curva de Transição	Curva Circular	Alinhamento Recto
0,5 mm	57,54	63,40	69,13
1 mm	85,45	91,30	95,21
2 mm	98,18	99,65	99,50
3 mm	99,73	2,3 (100)	99,68

Tabela 28 – Secção tipo 3, percentagem acumulada

Diferenças entre medições	Curva de Transição	Curva Circular	Alinhamento Recto
0,5 mm	29,46	27,60	26,20
1 mm	53,89	52,38	50,17
2 mm	82,84	81,60	80,19
3 mm	93,86	93,80	91,80

O nivelamento longitudinal em primeira análise identifica-se como o parâmetro mais estável a nível das percentagens acumuladas para os mesmos intervalos em cada secção tipo e entre os diferentes elementos.

Entre secções como esperado as amplitudes máximas de diferença tendencialmente aumentam com o reduzir do nível de resistência da superestrutura. Assim regista-se elevada fiabilidade de resultados na secção tipo 1 com valor médio de 88 % de percentagem acumulada para a diferença de 0,5 mm. No caso da secção tipo 2 este valor reduz-se em média para 63 % e 27 % na secção tipo 3 de percentagem acumulada.

Regista-se para 2 mm de diferença na secção tipo 1, quase a totalidade dos valores recolhidos, na secção tipo 2 em média 99 % e na secção tipo 3, 81 % de percentagem acumulada.

Este é um resultado que traduz a eficácia e boa correlação entre medições apesar das diferenças que existem entre si, não só no modo de recolher, como também no tipo solicitação que provoca sobre a superestrutura enquanto ocorre a recolha dos dados.

Capítulo 5 - Conclusão

Após o período correspondente às dezasseis semanas do estágio curricular em que estive em contacto com o mundo ferroviário através da REFER, foi um importante período de aprendizagem com todos os que me rodearam. Desde técnicos, especialistas, recursos humanos, encarregados e simples operários, todos eles desempenharam um papel fundamental que melhorou o meu conhecimento teórico através da experiência que obtive em deslocações para execução de testes/ensaios, experimentações de novos equipamentos e desenvolvimentos de ordens de serviço através de trabalhos nocturnos.

Os objectivos indicados para a realização deste trabalho em parte foram conquistados, no entanto, como muitos técnicos me indicaram a investigação sobre o modo como se processa a medição dos parâmetros de via e sua correlação com dados obtidos não seria um processo superficial, uma vez que, os próprios especialistas que operam com hardware e software para o qual receberam formação e dominam perfeitamente o modo como se opera com os mesmos ao nível da recolha, referem que, o modo autónomo como se processa a informação por meio de algoritmos, desenvolvidos pelo fabricante dos equipamentos, é uma matéria difícil de compreender devido a envolver processos, métodos, fórmulas, programação muito desenvolvida.

Obviamente que não era esse o objectivo do trabalho final de mestrado. O objectivo restringia-se ao conhecimento sobre o modo de funcionamento, ao nível da recolha de informação entre dois modos distintos, ou seja, o VIV02 EM 120 e o equipamento Krab Light.

Nesse sentido todos os sistemas inerentes foram analisados e compreendidos de modo a integrar a informação que ambos produzem.

Tecnologicamente os sistemas do VIV02 EM 120 fornecem precisão milimétrica da geometria de via, usando a tecnologia sem contacto físico, em velocidades até aos 120 km/h.

A inércia integrada / sistema GPS permite uma variedade de medições da geometria a ser calculada com precisão, incluindo, nivelamento longitudinal, o alinhamento, nivelamento transversal, empeno e bitola.

O equipamento que fornece a outra bateria de dados designa-se Krab Light e permite fazer a leitura dos parâmetros já referidos assim como o EM 120. Este equipamento não é autónomo ao nível do deslocamento, sendo empurrado ou puxado pelo operador que o conduz. Principal diferença entre ambos está no seu peso bruto, enquanto o Krab Light pesa cerca de 30 quilogramas, o EM 120 tem 50.000 quilogramas. A outra diferença reside no modo de recolha dos dados sobre a via, através do contacto físico com os seus elementos (rodas e verdugos), no caso do Krab e sem contacto, no caso do EM 120.

Quer o veículo de inspecção de via, quer o equipamento trólei estão devidamente habilitados a executar a recolha de dados sobre a via, pois dispõem de todas as condições previstas segundo as normas Europeias, tanto a nível de medição como das suas características, componentes e funções.

Deste modo podem ser devidamente quantificados os dados recolhidos e comparados com estudos europeus.

Em relação à recolha de dados, inicialmente tinha previsto outra forma para a sua recolha. Devido ao curto prazo, disponibilidade dos equipamentos, escassez de recursos, os dados tratados neste T.F.M., foram cedidos pelo departamento de Inspeção e Monitorização da REFER. Os dados estavam devidamente caracterizados, abrangendo os tipos de infra-estruturas que mais caracterizam a Rede Ferroviária Nacional.

Assim foram usadas dados referentes a três secções tipo de modo a poder executar comparações. O modo desenvolvido para poderem ser comparados, foi dividir os mesmos de acordo com os diferentes elementos de traçado, devido às transições em alinhamento recto e curva circular. Os parâmetros geométricos tomam valores completamente distintos consoante o elemento de traçado que estamos a analisar, razão pela qual foram agrupados tendo em conta não só as secções tipo, como o parâmetro geométrico e elemento de traçado.

As conclusões atingidas sobre os métodos de medição e correlação entre os dados obtidos foram as seguintes:

- Entre secções tipo o resultado esperado a nível da amplitude das diferenças entre medições está de acordo com o previsto, ou seja, à medida que caminhamos para uma secção tipo menos resistente a amplitude dos defeitos aumenta e a diferença entre os dados recolhidos toma o mesmo rumo;
- Na generalidade as melhores correlações foram obtidas na secção tipo 1, que representa a secção com travessa monobloco, carril UIC 60;
- O elemento de traçado que apresentou melhor correlação foi o alinhamento recto, com excepção do nivelamento longitudinal que ocorre na curva de transição, no caso da secção tipo 1;
- Existem parâmetros que ao nível das diferenças absolutas podem ter comportamentos singulares ou homogéneos consoante os elementos de traçado tipo;
- O empeno e o nivelamento longitudinal têm comportamento homogéneo e registam as melhores correlações entre medições;

Fiabilidade de resultados:

Na secção tipo 1, os parâmetros bitola, nivelamento longitudinal e alinhamento, atingem em média, para a diferença de 1,5 mm, a percentagem acumulada de 99,50 %; o parâmetro empeno regista em média para 1,0 mm, a percentagem acumulada de 99,50 %; o parâmetro nivelamento transversal atinge em média 99,50 % de percentagem acumulada para 2,0 mm de diferença entre medições.

Secção tipo 2 a fiabilidade dos resultados surge para a diferença de 2 mm, em que atinge-se a média de 99,50 % de percentagem acumulada, para os parâmetros nivelamento transversal, nivelamento longitudinal, alinhamento e empeno. O parâmetro bitola atinge em média 98,26 % de percentagem acumulada para 3 mm de diferença entre medições, sendo este um valor com uma diferença considerável para os restantes parâmetros.

Secção tipo 3 a fiabilidade dos resultados surge para a diferença de 5 mm, em que atinge-se a média de 99,25 % de percentagem acumulada, para os parâmetros bitola e empeno. Os parâmetros alinhamento, nivelamento longitudinal atingem para 6 mm de diferença entre medições, o valor médio de 99,00 % de percentagem acumulada.

O nivelamento transversal atinge para 99,53 % de percentagem acumulada para a diferença de 4 mm entre medições.

Resumindo em relação à percentagem acumulada de 99,50 em média, regista-se as seguintes relações entre as comparações efectuadas, permitindo concluir o seguinte sobre a tabela 29:

Tabela 29 – Comparação dos parâmetros geométricos analisados

Percentagem média acumulada	Parâmetro	Secção tipo 1	Secção tipo 2	Secção tipo 3
99,50 %	Bitola	1,5 mm	3,0 mm	5,0 mm
	Empeno	1,0 mm	2,0 mm	5,0 mm
	Niv. Transversal.	2,0 mm	2,0 mm	4,0 mm
	Alinhamento	1,5 mm	2,0 mm	6,0 mm
	Niv. Longitudinal	1,5 mm	2,0 mm	6,0 mm

Estes são os resultados que permitem aferir, por exemplo, que em 99,50 % das medições efectuadas sobre a secção tipo 1, para o parâmetro bitola, a diferença entre as medições executadas pelo VIV02 EM-120 e o Krab Light é de 1,5 mm.

Com esta análise conclui-se que na secção tipo 1 e 2, as diferenças entre medições são ligeiras tendo em conta que atinge-se uma diferença em média de 1,5 mm, e 2 mm, respectivamente. Deste modo confirma-se que, independentemente dos sistemas de medição do Krab, ou do factor peso aplicado sobre a via pelo EM 120, ambas as medições podem considerar-se fiáveis, havendo equilíbrio entre um veículo que recria condições normais de exploração sobre a via com sistema de medição inercial sem contacto com a via, e o equipamento ligeiro Krab com sistema de medição por cordas, com uma caixa de medição de deslocamentos mecânicos.

Exclusivamente o parâmetro bitola tem uma diferença entre medições de 3 mm, valor que pode se considerar apreciável. No entanto a explicação pode residir noutros factores.

Na secção tipo 3, segundo as diferenças de medição não se podem comparar os valores como fiáveis, comparados com as restantes secções tipo.

Outra forma de analisar o modo como evoluem os parâmetros geométricos ao longo da secção tipo analisada, é por observação directa dos gráficos onde se constata o acerto quilométrico. Por observação directa dos gráficos e interpretação dos valores numéricos referentes verifica-se o seguinte:

O valor registado pelo VIV02 EM 120 nas secções tipo 1 e 3, relativamente à bitola, é normalmente superior ao valor registado pelo Krab, sendo o defeito geométrico por excesso. Este dado não é conclusivo em todas as secções tipo. No entanto, associado a esta verificação constata-se que os valores do parâmetro alinhamento seguem em regra a mesma evolução do parâmetro bitola. Assim deduz-se uma relação traduzida pelo seguinte: um defeito de bitola, representa necessariamente um defeito de alinhamento.

Na secção tipo 2, regista-se constantemente valores recolhidos sobre o parâmetro bitola, pelo VIV02 EM 120 muito superiores aos valores recolhidos pelo Krab.

No armamento da superestrutura existe um determinado tombo, dado que o carril funciona com uma certa inclinação, para o interior da via, do seu eixo vertical, com a finalidade de contrariar a tendência para o derrube. Também poderá ocorrer, ao longo de uma determinada extensão, uma ligeira diminuição do tombo de projecto, e assim provocar um defeito geométrico de bitola por excesso, que ocorra neste caso com maior facilidade para secções com travessa bi-bloco.

Durante a medição dos parâmetros geométricos pelo EM 120, veículo de inspecção de via que recria condições reais de exploração, são impostas tensões sobre o carril que, por sua vez, as transmite às travessas. A travessa transmite essas tensões, degradadas à camada de balastro.

Um dos factores que leva a que as medições executadas pelo EM 120 sejam relativamente superiores às registadas pelo Krab está associado à influência do seu peso sobre a via.

Consequência do peso aplicado à via pelo EM 120, pode estar associado também o facto do parâmetro nivelamento transversal, na secção tipo 2, segundo o elemento de traçado alinhamento recto, verificar-se que os valores registados pelo EM 120 são maiores do que o registo efectuado pelo Krab. Se em alinhamento recto, o parâmetro nivelamento transversal deve ser zero, significa que em uma das filas dos carris ocorre um ligeiro assentamento provocado pela solicitação provocada, e consequentemente regista-se um defeito geométrico maior segundo o mesmo.

A situação relatada anteriormente verifica-se também na secção tipo 3, provavelmente devido ao mesmo factor, em que segundo o elemento de traçado curva circular, parâmetro de nivelamento transversal, o valor medido pelo Krab é superior ao registado pelo EM 120. Em curva circular o parâmetro nivelamento transversal deve manter-se constante com um determinado valor teórico de acordo com o comprimento da curva de circular, velocidade praticada na via. O nivelamento transversal baseia-se na diferença em altura da mesa de rolamento de cada carril. Na curva circular localiza-se o conjunto de pontos que têm a maior diferença em altura da mesa de rolamento de cada carril, mantendo o parâmetro constante. Seria expectável em curva circular devido à transmissão do peso do VIV02 EM 120, o carril correspondente à fila alta é o que sofre maior tensão devido à força centrífuga ter componente no sentido da fila alta, a força resultante exercida pelo peso se existir insuficiência de escala localiza-se sobre a lateral correspondendo à fila alta. Assim na passagem do EM-120 a fila alta assentava ligeiramente, sendo que a medição de nivelamento transversal é inferior ao registado pelo Krab, no entanto, o mesmo não se verifica.

Este factor também pode ter origem no facto da superestrutura da secção tipo 3, representar a “via clássica”, ter travessas em madeira e barra curta, apesar das fixações serem elásticas. As travessas de madeira têm elevada elasticidade, no entanto, assim que perdem esta característica, dá-se a compressão das fibras superficiais, à passagem dos rodados, e assim ocorre o seu afundamento.

No caso apresentado anteriormente se no nivelamento transversal o EM-120 regista valores maiores, então este facto registar-se também ao longo do nivelamento longitudinal. No entanto na secção tipo 3 não é possível verificar o mesmo pela análise dos gráficos com o acerto quilométrico correspondente ao parâmetro.

Na secção tipo 1, troço 2 em que se regista valores do parâmetro nivelamento transversal superiores nas leituras efectuadas pelo EM 120 ao longo do alinhamento recto, e em curva circular, ao nível da medição, havendo acompanhamento do parâmetro nivelamento longitudinal.

Assim se conclui a seguinte relação: um defeito de nivelamento transversal representa necessariamente um defeito de nivelamento longitudinal.

Na secção tipo 3, compreende-se o facto do aumento das diferenças entre medições ser maior devido à superestrutura, em especial ao tipo de armamento, mas atribui em grande parte o facto desse aumento ser também maximizado devido à medição do EM 120 recriar condições de exploração normais detectando amplitudes de defeitos

geométricos que por inspeção com equipamentos ligeiros ou meio manuais não se verifiquem.

Com os resultados e conclusões apresentadas espero ter contribuído com este trabalho final de mestrado não só para atingir competências e conhecimentos pessoais como, para o desenvolvimento e aprofundamento do método de análise sobre a recolha e tratamento de dados relativos à geometria da via.

Vantagens Práticas

Após ter sido aprofundado o conhecimento do VIV02 EM 120 e do Trólei Krab Light, assim como a análise e comparação dos dados inerentes ao processo de inspeção e análise de geometria de via executada por ambos, apontam-se as seguintes vantagens práticas:

- Troço que seja, geometricamente, pouco sensível à carga imposta pelo VIV possibilita a comparação de valores obtidos pelo Krab, através de medições sem carga;
- Superestruturas com travessa monobloco e bi-bloco, permitem o uso do Krab ao nível da eficácia de medição, comparando com medições do VIV;
- Concluí-se que o Krab não só complementa a medição do VIV, como pode substituí-lo;
- Devido à versatilidade de montagem e adaptação do Trólei a vários tipos de bitola, com o seu aparecimento iniciou-se o processo de inspeção de análise rigoroso sobre a via estreita;
- O Trólei assume-se como alternativa fiável ao nível da recolha de dados, com custos de operação e manutenção reduzidos quando comparados com VIV02 EM 120.

Lista de Referências Bibliográficas

Obras Citadas

- Baldeiras, M. (2011). Inspeção da Infra-Estrutura de Via.
- Burrinha, R. (2006). CEN / TG 256 / SC1 / WG 28. *Qualidade da Geometria da Via* .
- KZV. (29 de Junho de 2007). *Railway-Technology*. Obtido em 2011 de Junho de 15, de KZV - Track Geometry Measuring Devices:
<http://kzv.webseller.cz/downloads/>
- Mostafa, M., Hutton, J., Reid, B., & Hill, R. (2001). *Universidade de Estugarda*. Obtido em 20 de Abril de 2011, de Instituto de Fotogrametria:
<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo01/Reid.pdf>
- Pereira, V. (2003). *Diagnóstico da Via*.
- PROSUTEC. *Krab - Manual de Uso del Programa de Evaluación Krab 7.00*. PROYECTOS Y SUMINISTROS TÉCNICOS INTEGRALES.
- REFER - Nota Técnica de Via - 003. (s.d.). Descrição Geral do Veículo de Análise Geométrica EM-120 Caminhos de Ferro Portugueses. *Nota Técnica de Via - 003* .
- REFER. (Novembro de 2001). Diagnóstico e Qualidade de Via. *VIV02 EM-120 - Veículo de Inspeção de Via e Descrição dos Sistemas de Medição* . REFER.
- REFER,EPE - IT.VIA.018. (2009). IT.VIA.018. *Tolerâncias dos Parâmetros Geométricos da Via* . REFER.

Lista de Referências Bibliográficas

Bibliografia

Normas Europeias CEN – Comité Europeu de Normalização;

Fichas UIC – Union Internationale des Chemins de Fer ;

Normas REFER, EPE – Rede Ferroviária Nacional;

Instruções Técnicas de Via, REFER;

Instruções de Exploração Técnica, REFER;

Especificações Técnicas, REFER;

Informações Técnicas, REFER;

ESVELD, Conraad – Modern Track ;

Alias, Jean – La Voie ;

Rives, Oliveros – Tratado de Ferrocarriles.

Sítios consultados

<http://www.applanix.com/products/land/postg.html>, acedido a 11 de Abril pelas 10h00m;

<http://www.applanix.com/application-examples/railway-corridor-mapping.htm>, acedido a 11 de Abril pelas 14h00m;

http://www.applanix.com/media/downloads/products/specs/postg_spec.pdf, acedido a 14 de Abril pelas 9h00m;

<http://www.somague.pt/site2005/pt/index.asp?cont=engenharia/neopul/competencias>, acedido a 18 de Abril pelas 9h30m;

<http://www.ferrovias.pt/>, acedido a 25 de Abril pelas 9h30m;

<http://www.railway-technical.com/track.shtml>, acedido a 26 de Abril pelas 11h30m;

<http://www.railjournal.com/>, acedido a 26 de Abril pelas 14h00m;

Bibliografia

http://www.plassertheurer.com/en/production_range/recording_cars.htm, acedido a 2 de Maio pelas 10h00m;

<http://www.plassertheurer.com/en/production/elektronik.htm>, acedido a 6 de Maio pelas 16h00m;

<http://www.somafel.pt/>, acedido a 16 de Maio pelas 10h30m;

<http://www.fergrupo.pt/>, acedido a 16 de Maio pelas 14h00m;

http://www.vrtrack.fi/attachments/5mwwdMKvM/5o2EJii2e/VR_Track_GB.pdf, acedido a 3 de Junho pelas 10h00m;

<http://www.railway-technology.com/contractors/track/kzv/>, acedido a 7 de Junho pelas 15h00m;

http://www.prosutec.com/productos.php?producto=auscultador_manual, acedido a 14 de Junho pelas 10H30m.

Anexos

Índice de Anexos

Anexo A - Acelerómetros e giroscópios.

Anexo B - Software Krab Light.

Anexo C - Tolerâncias de acordo com documento ITV 018.

Anexo D - Cálculo do índice de qualidade da geometria.

Anexo E - Gráficos do VIV02 EM 120, referentes às secções tipo analisadas.

Anexo F - Histogramas referentes à secção tipo 1.

Anexo G - Histogramas referentes à secção tipo 2.

Anexo H - Histogramas referentes à secção tipo 3.

Anexo A

(Acelerómetros e giroscópios)

“Acelerómetros

Definição de eixos

X - horizontal segundo o eixo longitudinal da EM 120;

Y - horizontal e perpendicular a X;

Z – Vertical.

O Acelerómetro consegue saber a orientação do veículo pois baseado na aceleração do deslocamento é calculada a força. Deste modo tem uma orientação segundo o deslocamento efectuado.

O maior problema do acelerómetro é que não consegue detectar quando uma pessoa por exemplo se move junto o aparelho (ou seja sem girar o eixo do acelerómetro).

Outro problema do acelerómetro é que seu uso contínuo acumula falhas com o tempo tendo que ser recalibrado para poder ter precisão.

Acelerómetros – $[a_x, a_y, a_z] = [0; 0; 9,8]$ quando o aparelho (IMU) está nivelado. Os acelerómetros são corpos associados a uma massa conhecida ligada a uma mola. Neste caso a_z está sujeito à aceleração da gravidade que está reconhecido como valor homogéneo ao longo da superfície terrestre, apesar de na realidade assim não acontecer devido á forma de elipsoidal da terra.

Se (IMU) não estiver nivelado $[a_x, a_y, a_z] = [0; 0,5; 9,8]$, então $\alpha_{HY} = \arctan\left(\frac{0,5}{9,8}\right)$

Giroscópios

O giroscópio tem como função principal diferença correcção do acelerómetro, uma vez que, é imune aos erros de acumulação, com isso é mais preciso ao lidar com deslocamento em eixo próprio e principalmente é bem preciso ao detectar deslocamento fora de seu eixo o que faz com que só ele consiga realizar com maior precisão em relação ao acelerómetro.

Definição de eixos

X – ângulo que X faz com o Norte;

Y – ângulo com a horizontal (nivelamento horizontal);

Z – plano onde a bitola é medida (15 mm abaixo do plano de rolamento).” (REFER, 2001)

Anexo B

(Software Krab Light)

“Software de medição

O programa de medição com a designação de Krab6vNET suporta os dados recolhidos “in situ” pelo equipamento Trólei Krab Light. Às várias medições executadas designam-se por eventos realizados. Estes contêm especificações introduzidas pelo operador como o nome da estação ou apeadeiro, número de valores medidos e os registos provenientes da inspecção visual.

O software de medição do Krab Light é a versão 7.00, e é projectado para uso com sistema operacional Windows 98 ou sistemas operacionais superiores. Este sistema foi melhorado em relação à versão anterior 6.12 nas seguintes características:

- Possibilidade de definir as configurações do projecto e avaliar as mudanças de direcção, elevação e avaliação dessas variáveis locais sobre os valores de entrada, em vez de comparar com os valores médios obtidos, como é o caso na versão anterior;
- A função Editar / Interpolar o eixo da via, recalcula a informação em intervalos de 0,25 m em um dos carris a uma distância do eixo da via. Esta função aumenta a precisão na localização de defeitos locais, o comprimento da distância de medição e ainda permite a comparação directa de duas medições. Este recurso é especialmente útil na medição de curvas;
- Permite dividir o segmento de via medida em subsecções diferentes e seleccionar diferentes zonas de velocidade de forma independente. Assim, a tabela de defeitos locais calcula-se, exhibe-se e imprime-se para cada subsecção separadamente;
- Outro exemplo do tipo de defeitos locais que, além de informações de duração e nível de tolerância é ultrapassado, também exhibe informações sobre valor máximo de geometrias de via na região, onde a tolerância é ultrapassada;
- A função Gráfico / Comparar dois arquivos Shift + F4 foi adicionado à Gráfico / Comparar dois sinais Ctrl + F4. Esta função utiliza os sinais do gráfico, onde cada registo mostra dois sinais similares de diferentes medidas. Avaliação da faixa de extensão. Foram adicionados diferentes transformações tornando-se o desvio-padrão ou índices de qualidade padrão. A função Avaliação / Avaliação de secções de duas medidas, que compara as taxas de qualidade e mostra graficamente a degradação na qualidade da via durante a segunda medição.

As principais características do programa Krab 7.00

“As principais características do programa Krab 7.00 são o processamento dos dados adquiridos durante a geometria, ou seja, a chamada geometria primária, arquivos com extensão *. KRM / ou *. KRL. KRL. A principal função do software é calcular a transformação dos dados relativos aos parâmetros primários em parâmetros geométricos (GPK). Estes são calculados usando princípios matemáticos na informação primária, valores derivados geometria de acordo com a norma EN 13848, ou seja, no sentido longitudinal e altura do carril (Alinhamento e Nivelamento) comprimentos de onda em D1 (1-25 m) e D2 (25-70 m). Além da geometria real, são possíveis cálculos em **sequências assimétricas**. Isto é, os dados adquiridos em medição pelo equipamento de inspeção são baseados nas suas cordas de aço. O equipamento é constituído por duas semi-cordas de aço de 1.1 e 1.0 metros. De acordo com a norma Europeia estes valores devem ser traduzidos para os valores geométricos absolutos e relativos como é o caso do Alinhamento e Nivelamento. Os resultados podem ser impressos.

Todas as funções do programa são divididas em 8 partes:

- Arquivo
- Editar
- Opções
- Avaliação
- Gráficos
- Imprimir
- Windows
- Ajuda

Dados da geometria primária

Esta parte do programa permite edição de arquivos de dados primários (arquivos com *. KRM / ou *. *. KRL KRL). O nome dos arquivos com os dados medidos da geometria primária deriva dos dados e data do início da auscultação (arquivo criado).

Cabeçalho

O cabeçalho tem uma capacidade fixa de 1024 bytes (arquivos *. KRM / *.KRL) bytes ou 2048 Files (*. KRL) e contém as seguintes informações principais: data e hora de realização da auscultação;

- Número de geometria primária medida, valor de N
- Número de amostras e medidas M
- PK inicial através de auscultação *
- Orientação sobre a via, PK auscultado *
- Dados de auscultação tipo (eléctrico via férrea, ou massas)
- Corda usada para o alinhamento de medição primária
- Proporção das peças assimétricas da corda de medição
- Número de eventos (máx. 50)
- Os valores de calibração e de alterações nos montantes de geometria em relação ao principal formato em que foram instalados
- Os dados marcados com o símbolo (*), podem ser modificados

Valores primários de geometria

Os valores primários são armazenadas como dados geométricos de duas Ns byte. O montante de Valores básicos medidos é N = 4, na ordem da bitola, alinhamento, nivelamento e escala. Se N = 5, o quinto valor é empeno. Se N = 7, o valor de 6 e 7 é e nível de alinhamento é em corda longa. Se N = 7, quando os dados foram obtidos por atacadeiras, o quinto valor de elevação é do carril, o sexto é a profundidade de ataque e a sétima é o tempo de ataque.

Número total de variáveis geométricas (GPK)

O número total de variáveis correspondentes a norma europeia EN 13848-1 está enumerado na lista a seguir 1-29. A figura 24 representa alguns dos parâmetros geométricos.

1. Largura primária (pr_Ancho)
2. Alinhamento primário (pr_Alinhamento)
3. Nivelamento primário (pr_Nivelamento)
4. Escala primária (pr_Escala)
5. Empeno primário (pr_Empeno)
6. Alinhamento longitudinal corda primário (pr_AlinLargo)
7. Nivelamento Primária corda longa (pr_NivLargo)

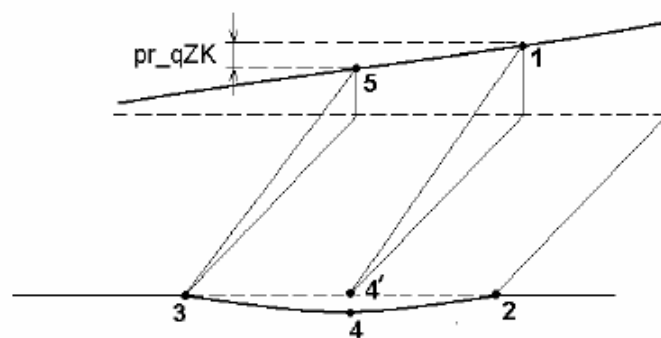


Figura 24 – Escala é a distância vertical entre ponto 5 na base dos pontos 1,3 e 4. O empeno é a distância vertical do ponto 5, com base nos planos dados pelos pontos (1,2 e 3) = (1,3 e 4).

Sinais de Cálculo:

8. Nivelamento dinâmico de carril direito (Nv_D);
9. Nivelamento dinâmico de carril esquerdo (Nv_E);
10. Escala - dinâmico (Pr_din);
11. Escala (Pr_Qs);
12. Sobreelevação Total (Escala);
13. Alinhamento do empeno à direita do carril ($1000/R_D$) $1000 / R$ [m];
14. Alinhamento do empeno à esquerda do carril ($1000/R_E$) $1000 / R$ [m];
15. Alinhamento dinâmico do carril direito (Al_din_D);
16. Alinhamento Dinâmico do carril esquerdo (Al_din_E);
17. Alinhamento total do carril direito (Al_D);
18. Alinhamento total do carril esquerdo (Al_E);
19. Largura dinâmica (An_din);
20. Largura do empeno (An_Qs);
21. Largura total (W);
22. Variação da largura por m (W / m);
23. Empeno base BZ1 (RB1);
24. Empeno base BZ2 (TW2);
25. Empeno base BZ3 (TW3);
26. Escala (ORE_twist);
27. Sinal resumo dos locais defeitos IGE (GSE);
28. Nivelção cíclica (CycTop);
29. Desvio de sinal resumo de desvio típico GSS (GSS).

Editar

Esta funcionalidade permite inserir os valores teóricos (ou projecto de inicial) da via auscultada. Os parâmetros de projecto são definidos para o empeno e alinhamento, **que geralmente têm formato trapezoidal**. Os valores de cálculo da declividade são definidos pelas posições dos pontos de início e fim ao levantar os valores de rampa e elevação desses pontos.

Os valores de cálculo do alinhamento definido pela posição dos pontos de partida e fim das curvas e seu valor a estes pontos. A curvatura do carril é obtida com corda do auscultador. Os comprimentos das secções da corda de medição C1 [m] e C2 [m], podem ser vistos no cabeçalho do arquivo. O valor é obtido pela seguinte equação da curvatura:

$$v = (1000 * C1 * C2) / (2R), \text{ onde } v \text{ [mm], } C1 \text{ [m], } [m] \text{ } C2, R \text{ [m] } " [1]$$

Edição / Interpolar

O intervalo de medição é de 0,25 m como se verifica na figura 25, sendo medido no carril com a roda que auscultador dispõe de um odómetro (encoder), que se localiza sobre a roda esquerda. No caso da secção auscultada conter curvas, o comprimento do carril esquerdo e direito variam. Assim existe uma incompatibilidade de comprimento quando se comparam duas medições em uma secção – a rolos odómetro mais de dois carris com diferentes comprimentos. Para corrigir este problema, utiliza-se o comando Editar / Interpolar.

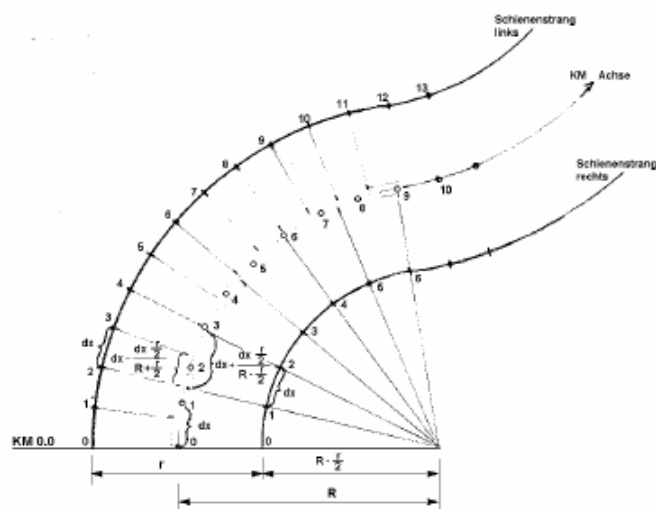


Figura 25 – Geometria auscultada em curva

Com base na curvatura da via e no raio da curva determinam-se posições equidistantes no carril pelo odómetro e eixo da via projectada. Estas projecções formam a base de amostragem que não é equidistante dos valores primários.

Como o algoritmo funciona com a curvatura do carril, é importante para corrigir o desvio sinal de alinhamento primário. O algoritmo deve ser modificado consoante o valor da bitola padrão correspondendo ao país em que vai operar. Deste modo a diferença entre os comprimentos de carril da esquerda e direita pode ser calculada.

Janela Sobreposição e edição de dados

Na figura seguinte mostra-se o ecrã de configuração do programa.

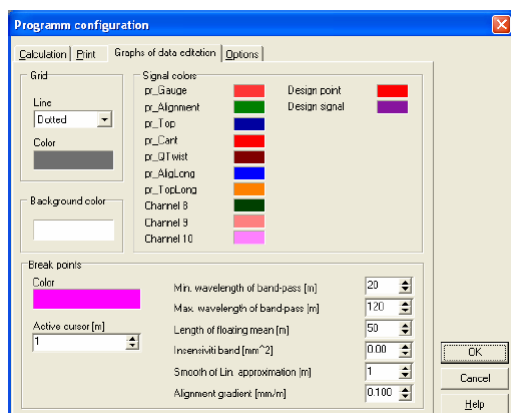


Figura 26 – Configuração do Programa, defeitos locais e introdução dos Pontos de Inflexão

Os pontos de inflexão podem ser inseridos manual ou automaticamente. Assim a linha central é recalculada após cada mudança nos pontos de inflexão, de modo a localizar a melhor interacção. O algoritmo para localização automática é descrito seguidamente:

A magnitude máxima local do sinal determina a localização dos pontos de inflexão.

O algoritmo para encontrar a magnitude máxima ignora os valores que são menores do que o valor filtrado do sinal de teste pelo método da média flutuante, em vez de máximos locais.

A razão para a configuração dos pontos de inflexão é encontrar o valor médio do alinhamento e nivelamento sob a forma de uma curva, sendo a melhor maneira de aproximar a forma trapezoidal como sinal principal é o alinhamento de curvatura. Pontos de inflexão são usados para calcular o alinhamento primário médio automaticamente quando o arquivo de dados é aberto e a aproximação linear na aba “Cálculo” (na lista suspensa) está seleccionada. O resultado de filtragem do alinhamento mostra o gráfico da informação primária como outro sinal.

O tipo de filtro depende do filtro seleccionado. Excepto para a aproximação linear, estão disponíveis quatro tipos de filtragem FIR contínuos típicos Kaiser, trapezoidais e triangulares Butterworth, juntamente com a função especial do valor de alinhamento do projecto. A aproximação linear é usada para secções curvas circulares, com raios inferiores a 150 m, onde um filtro contínuo suaviza o formato trapezoidal da curva também, o que gera um desvio do comprimento irreal de onda. Na prática, isso ocorre na via desviada de desvios e nas vias de transição.

O alinhamento do sinal linear aproximação inserido entre dois pontos de inflexão através de uma linha recta usando o método dos mínimos quadrados. O fim de cada linha em uma subsecção é o início da linha na próxima subsecção. A curva resultante é suavizada utilizando simples flutuante comprimento médio de aproximação suave e linear do conjunto [m], como se verifica na figura 27.

Na mudança dos parâmetros da curvatura do carril (na guia Cálculo do comprimento de onda mínimo de curvatura [m] e do tipo de filtro na guia "a edição de dados gráficos" no campo suavizar aproximação linear [m]) não tem um impacto imediato. Para mostrar as mudanças, manualmente deve utilizar a função de avaliação / Calcular o valor médio do sinal alinhamento (Shift + Ctrl. + F12). Pontos de viragens podem também ser usado para criarem os valores de projecto de alinhamento e o nivelamento longitudinal.

Por sua vez, o valor de cálculo do alinhamento pode ser usado como o sinal de alinhamento primário médio se o valor do filtro for seleccionado no projecto "Cálculo" guia no menu suspenso.

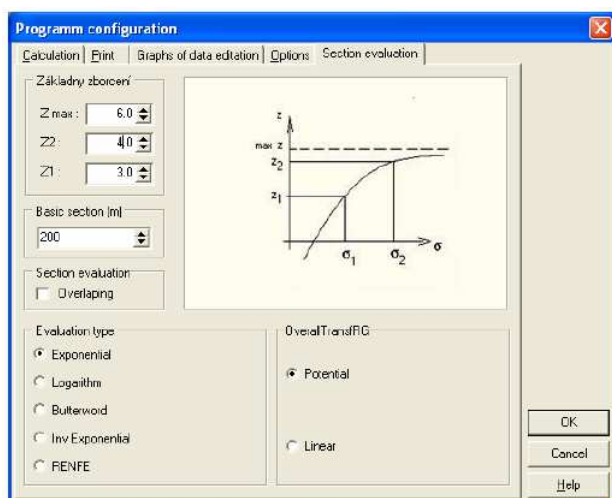


Figura 27 – Configuração do Programa

Opções / avaliação gráfica

O modo de definir o conteúdo de saída, como os gráficos e valores das geometrias auscultadas é executado através da janela que se visualiza na figura 28 – Opções do gráfico. O gráfico pode conter até 10 entradas. Cada registo gráfico pode conter até 2 sinais geométricos são mostrados nas janelas sinal nomes de sinal 1 e 2 do sinal. A cor dos sinais pode ser alterada. O campo de valores máximos e mínimos correspondentes aos limites superiores e inferiores do registo determina-se a amplitude do registo através da Bitola, ou seja, da largura da via de acordo com a sua amplitude de máxima. Deste modo garante-se que todos os outros registos sejam proporcionais entre si.

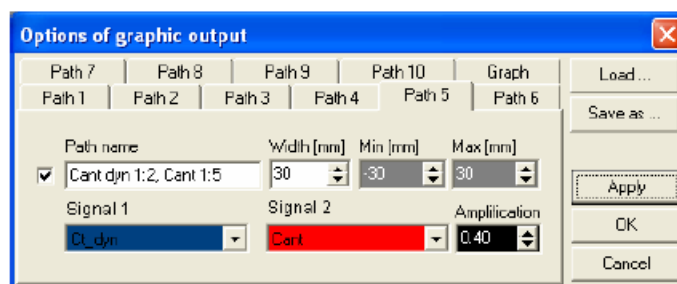


Figura 28 – Opções do Gráfico

Opções / Parâmetros de Avaliação

Abre uma caixa de diálogo com os parâmetros ao lado da tabela de tolerâncias os comandos de Avaliação / defeitos locais:

Categoria 1 - A avaliação de defeitos locais no menu dropdown para Limites de defeitos locais (Tolerância). A lista contém os nomes de cinco tabelas com os níveis máximos de defeitos locais.

Categoria 2 - Da via, normalmente dada pela zona de velocidade. As cinco opções sob os nomes das linhas na tabela com os limites para os defeitos locais. Os nomes das linhas da tabela podem ser alterados. A zona faixa de velocidade seleccionada nesta janela só se aplica para o arquivo activo.

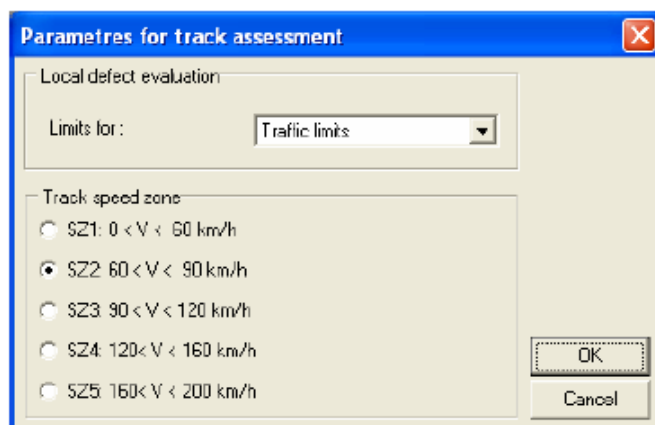


Figura 29 – Parâmetros de via para os corredores de velocidade

Opções e tolerâncias

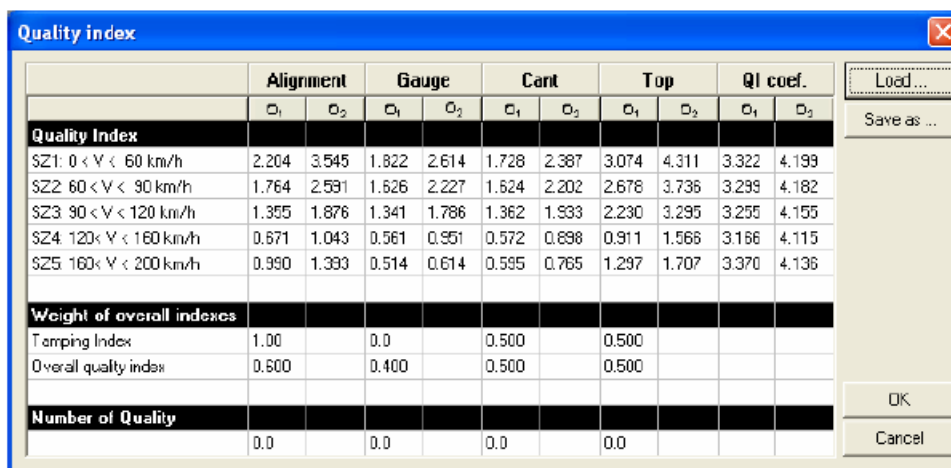
Este comando abre uma tabela que selecciona as tolerâncias para os defeitos de avaliação local. As três bases são seleccionadas na figura 30 – Limites de defeitos locais.

Speed zone	Ga+	Ga-	G/m	Top	Tw1	Tw2	Tw3	Align.	Cant
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm]	[mm]
Traffic limits									
SZ1: 0 < V < 60 km/h	26	-4	4	15	4.00	3.45	2.85	15	15
SZ2: 60 < V < 90 km/h	18	-4	4	10	4.00	3.2	2.63	10	10
SZ3: 90 < V < 120 km/h	12	-3	3	8	4.00	2.78	2.33	8	8
SZ4: 120 < V < 160 km/h	7	-3	3	6	4.00	2.17	1.92	6	6
SZ5: 160 < V < 200 km/h	5	-3	3	5	4.00	2.00	1.82	5	5
Max traffic limits									
SZ1: 0 < V < 60 km/h	35	-8	5	20	6.00	4.00	3.00	20	20
SZ2: 60 < V < 90 km/h	30	-8	5	15	6.00	4.00	3.00	15	15
SZ3: 90 < V < 120 km/h	20	-8	4	10	6.00	4.00	3.00	10	10
SZ4: 120 < V < 160 km/h	10	-5	4	8	6.00	4.00	3.00	8	8
SZ5: 160 < V < 200 km/h	10	-5	3	8	6.00	4.00	3.00	7	8
Maintenance new material									
SZ1: 0 < V < 60 km/h	4	-2	3	4	4.00	3.13	3.13	5	4
SZ2: 60 < V < 90 km/h	4	-2	3	4	4.00	2.98	2.98	5	4
SZ3: 90 < V < 120 km/h	4	-2	3	4	4.00	1.50	1.50	4	3

Figura 30 – Limites de defeitos locais

Opções / Índice de Qualidade

O comando abre uma janela para definir os valores de desvio-padrão S1 e S2 secção correspondente a duas marcas de qualidade Z1 e Z2, como se verifica na figura seguinte.



	Alignment		Gauge		Cant		Top		QI coef.	
	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Quality Index										
SZ1: 0 < V < 60 km/h	2.204	3.545	1.822	2.614	1.728	2.387	3.074	4.311	3.322	4.199
SZ2: 60 < V < 90 km/h	1.764	2.591	1.526	2.227	1.524	2.202	2.678	3.736	3.299	4.182
SZ3: 90 < V < 120 km/h	1.355	1.876	1.341	1.786	1.362	1.933	2.230	3.295	3.255	4.155
SZ4: 120 < V < 160 km/h	0.671	1.043	0.561	0.951	0.572	0.898	0.911	1.566	3.166	4.115
SZ5: 160 < V < 200 km/h	0.990	1.393	0.514	0.614	0.595	0.765	1.297	1.707	3.370	4.136
Weight of overall indexes										
Tamping Index	1.00		0.0		0.500		0.500			
Overall quality index	0.600		0.400		0.500		0.500			
Number of Quality										
	0.0		0.0		0.0		0.0			

Figura 31 – Índice de qualidade

Avaliação / cálculo de pontos de viragem (Ctrl + F12)

Esta função calcula a posição dos pontos de inflexão (início e fim de curvas transição), com base nos parâmetros fixados na aba "Gráfico de edição de dados."

Avaliação / Cálculo do valor médio do alinhamento (Shift + Ctrl. + F12)

Esta função calcula o valor médio do alinhamento do sinal primário, utilizando filtragem e parâmetros estabelecidos na aba / guia Configurações do programa "Cálculo" a curvatura. Os quatro primeiros clássicos do filtro (FIR-Kaiser, trapezoidais e triangulares Butterworth) não utilizam os pontos de inflexão. Se seleccionar a aproximação linear, o valor médio sinal é calculado com base nos pontos de inflexão através de uma aproximação linear. A descrição detalhada encontra-se em Options / programa / Graphics edição de dados. Esta função deve ser usada em curvas com raios inferiores a 300 m. Comando de avaliação / Cálculo do valor médio do alinhamento (Shift + Ctrl. + F12) é executado automaticamente assim que o arquivo foi aberto com os valores primários geométrica. Esta é a razão que o mesmo valor médio é sempre visível na janela de edição do sinal.

Avaliação / local defeitos

O comando calcula e mostra uma tabela com todos os defeitos locais, como se visualiza na figura 32. Se um valor de geometria exceder o valor máximo permitido (tolerância) é considerada como um defeito local. O comando de operação depende da zona de velocidade ou a divisão das zonas de velocidade e extensão do uso das tolerâncias dos defeitos local (ver secção 6.3 Opções / Parâmetros avaliação). A placa tem marcas no número de subáreas única velocidade. Abaixo está um exemplo de um defeito local e a sua leitura:

km	Lateral				Cant	Twist			Vertical			Events
	Alignment		Gauge			2.0 m	6 m	12 m	Top			
	AL	AR	Ga	G/m					TopL	TopR	CT	
Lev1	E	S	7-3	3	5	8.0	13.0	23.0	6	6	50.0	
Lev2	E	S	10-5	4	8	12.0	24.0	36.0	6	6	50.0	
120.302												Leveling
120.280												Turnout
120.272												
120.269				0-3.3/1								1-6.6/1
120.268					2+8.8/2							
120.267												3-8.8/2
120.267						1+10.1/1						
120.265							3+18.1/1		2+8.5/2			
120.260									3+11.8/2			
120.260										4+15.4/2		
120.251									2+8.4/2	3+10.3/2		
120.250												Frog
120.246										2+8.1/2		
120.246										2+7.6/1		

Figura 32 – Defeitos Locais

Exemplo: 3-8.8 / 2, Significa que o padrão é de 3 metros de comprimento, o seu valor máximo é de 8,8, excedendo o nível 2.

Avaliação / defeitos local [%]

A informação da tabela mostra a percentagem do total que exceda a secção de tolerâncias seleccionada, como exemplifica a figura seguinte.

km	Lateral				Vertical						Events
	AL	AIR	Ga	G/m	Cant	2.0 m	6 m	12 m	TopL	TopR	
Lev1	6	6	7.3	3	6	8.0	13.0	23.0	6	6	50.0
Lev2	8	8	10.5	4	8	12.0	24.0	36.0	8	8	60.0
> Lev1	0.0	0.0	+0.0;-0.0	0.5	3.7	1.8	3.7	1.1	11.6	19.2	0.0
> Lev2	0.0	0.0	+0.0;-0.0	0.0	2.9	0.0	3.7	1.1	8.9	17.9	0.0

Figura 33 – Defeitos locais

Avaliação / Avaliação secções

Este comando unifica as tabelas e índices de qualidade. O princípio da avaliação é a divisão de secções, chamada secção de base. Em cada secção central (normalmente 200 m) são calculados os valores do desvio-padrão dos quatro valores de geometria:

- Alinhamento dinâmico no eixo ferroviário;
- Largura dinâmica - Bitola;
- Empeno dinâmico;
- Nivelamento dinâmico do eixo ferroviário.

Os desvios padrão são utilizados para calcular os índices de qualidade, utilizando um da transformação $z = f(s)$. Transformação parâmetros m e b dependem da área seleccionada e velocidade são calculados de acordo com os valores na Opções de tabela / rácios de qualidade. O índice de qualidade total, índice ZP é rebatido em CK, número de qualidade sendo calculado depois. CK é a média ponderada dos quatro desvios acima descritos. O comprimento da secção do núcleo mostrado nas secções de avaliação. Se a secção é maior que o sinal total, irá usar o comprimento do segundo.

Avaliação de comando divide as secções seleccionadas nos pontos essenciais para que as divisões entre as secções básicas sejam colocadas no individual a vários pontos ao longo do comprimento da secção base como mostra a figura 34. A transformação exponencial é usada no exemplo a seguir

Km	Lateral				Vertical				OQI	TI	NQ
	Alignment		Gauge		Cant		Top				
Basic section: 200	STD	QI	STD	QI	STD	QI	STD	QI			
120.305 - 120.400	1.20	2.12	0.86	1.43	2.51	4.42	4.06	4.25	4.18	4.18	0.00
	1.14	2.02	0.99	1.71	2.75	4.72	3.45	3.75	4.07	4.07	0.00
120.400 - 120.600	1.69	2.89	0.96	1.65	2.17	3.96	5.48	5.07	4.39	4.39	0.00
	1.67	2.85	1.10	1.94	2.19	3.98	4.72	4.69	4.17	4.17	0.00
120.600 - 120.756	2.37	3.76	0.79	1.29	2.22	4.03	4.19	4.34	4.01	4.01	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.45	3.75	1.51	1.51	0.00

Figura 34 – Parâmetros geométricos com valores pontuais acima das tolerâncias

Avaliação / Estatística

“Este comando abre o diálogo para a selecção de cada um dos sinais geométricos e calcula e exhibe uma janela com as características estatísticas. Estatísticas individuais são definidas como segue:

Mínimo: Valor mínimo $\text{Min} = \min[x_i], i=1..n$

Máximo: Valor máximo $\text{Max} = \max[x_i], i=1..n$

Media: Valor medio $\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$

Desviación absoluta: $\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$

Desviación típica: $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$

Desviación tip. descentrada: $\sigma_{nc} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2}$

Variación: $v = \sigma^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$

Disimetria: $sw = \frac{1}{n \cdot \sigma^3} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3$

Curtosis: $ct = \frac{1}{n \cdot \sigma^4} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 - 3$

Statistics - [A310747...]	
KM:	120.305 ÷ 120.750
Quantity	Ga
Minimum:	-4.45
Maximum:	4.69
Average	-0.01
Abs. deviation:	0.91
Std. deviation:	1.20
Std. dev. nc:	1.20
Variance:	1.44
Skewness:	-0.01
Kurtosis:	0.95

Gráfico

Este comando permite aceder a uma janela com 10 registos geométricos.

A escala pode ser alterada em intervalos de 25, 50, 75, 100, 200, 400 e 800 metros.

As linhas verticais vermelhas marcam a posição de eventos ou alterações de quilometragem. Ao posicionar o cursor sobre a linha mostra o nome do evento na barra de janela superior. As linhas horizontais tracejadas mostram limites de defeitos locais. A linha verde marca o limite entre as secções de zonas de velocidade. As linhas roxas marcam pontos de inflexão. Todos os pormenores descritos anteriormente, verificam-se a figura seguinte.

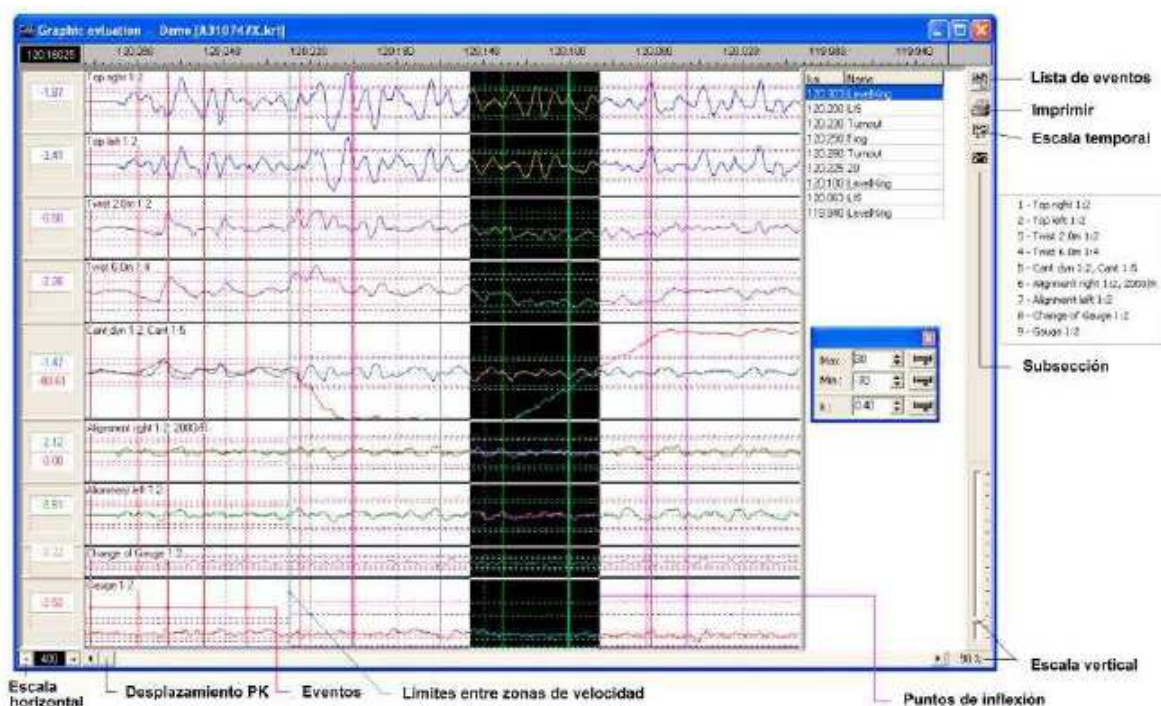


Figura 35 – Gráfico de avaliação de defeitos locais

Gráfico / Comparar dois sinais. Ctrl + F4

Aparece a janela com o gráfico comparando dois sinais de cor vermelhos e verde como se visualiza na figura 36:



Figura 36 – Comparação de dois sinais relativos à medição da Bitola

A janela é dividida em uma parte superior e inferior. A parte superior mostra os dois sinais seleccionados e outro que exprime a diferença. Ambos os lados estão divididos pela barra deslocamento. Clicando sobre as setas na barra de direcção move o sinal 0,25 m, clicando na barra de direcção é de 1 m. Isso permite a sincronização precisa dos dois sinais. O cursor pode ler os valores do sinal e diferenças. A janela digital abaixo mostra o desvio padrão do sinal de diferença no visível.

Gráfico / Comparar dois arquivos Shift + F4

“Este comando é semelhante ao anterior, mas permite que os sinais positivos em comparação com as geometrias ao mesmo tempo, embora não evidenciando sinais de diferença.

Os registos são exibidos de acordo com a opção Image / Track (F4). Cada registo mostra dois sinais o mesmo número de medidas diferentes. Se Options / avaliação gráfica definida dois sinais de um registo, o segundo não será exibido. O sinal de cor da segunda medida depende da configuração do sinal de 2 Opções / avaliação gráfica como se verifica na figura seguinte.”

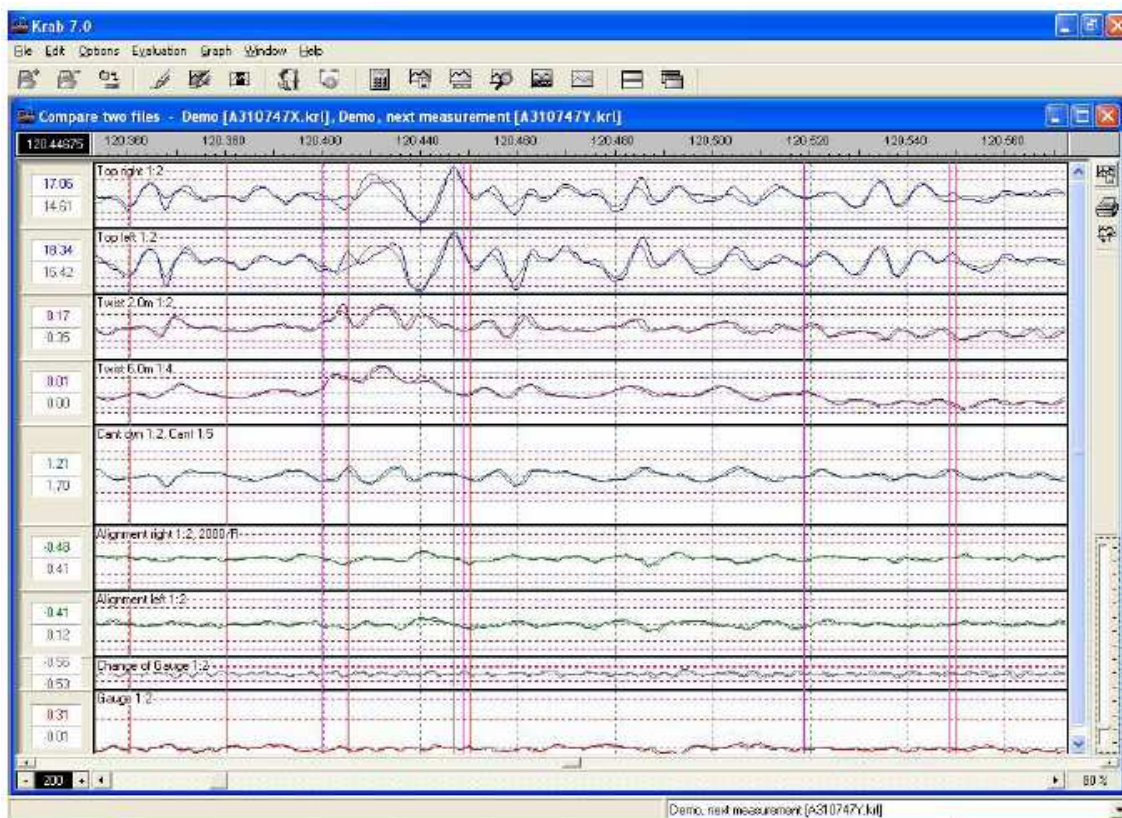


Figura 37 – Comparação de parâmetros geométricos de duas medições

Informação traduzida a partir do Manual de Uso sobre o Programa de Avaliação do Krab Light. (PROSUTEC)

Anexo C

(Tolerâncias de acordo com documento ITV 018)

Tolerâncias para linhas de bitola 1668mm e 1435mm

Tabela 30 - Tolerâncias de Alerta dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668 mm e 1435 mm

Classe	VI	V	IV	III	II	I
Velocidade [km/h]	$V \leq 40$	$40 < V \leq 80$	$80 < V \leq 120$	$120 < V \leq 160$	$160 < V \leq 230$	$V > 230$
Parâmetro [mm]						
⁹ Bitola	-7/+25	-7/+25	-7/+25	-6/+25	-4/+20	-3/+20
⁹ Bitola Média	n.a. /+25	-6/+25	-5/+22	-3/+16	-3/+16	-1/+16
¹⁰ Niv. Longitudinal D1	±18	±18	±16	±15	±12	±10
¹⁰ Niv. Longitudinal D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±20	±18
¹⁰ Alinhamento D1	±15	±15	±11	±9	±8	±7
¹⁰ Alinhamento D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±15	±13
¹¹ Empeno (base 3 metros)	±12	±12	±12	±12	±9	±9

Tabela 31 - Tolerâncias de Intervenção dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668 mm e 1435 mm

Classe	VI	V	IV	III	II	I
Velocidade [km/h]	$V \leq 40$	$40 < V \leq 80$	$80 < V \leq 120$	$120 < V \leq 160$	$160 < V \leq 230$	$V > 230$
Parâmetro [mm]						
¹² Bitola	-9/+30	-9/+30	-9/+30	-8/+30	-5/+23	-4/+23
¹² Bitola Média	n.a. /+28	-7/+28	-6/+25	-4/+18	-4/+18	-2/+18
¹³ Niv. Longitudinal D1	±21	±21	±19	±17	±14	±12
¹³ Niv. Longitudinal D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±23	±20
¹³ Alinhamento D1	±17	±17	±13	±10	±9	±8
¹³ Alinhamento D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±17	±14
¹⁴ Empeno (base 3 metros)	±15	±15	±15	±15	±12	±12

Tabela 32 - Tolerâncias de Ação Imediata dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668 mm e 1435 mm

Classe	VI	V	IV	III	II	I
Velocidade [km/h]	$V \leq 40$	$40 < V \leq 80$	$80 < V \leq 120$	$120 < V \leq 160$	$160 < V \leq 230$	$V > 230$
Parâmetro [mm]						
¹⁵ Bitola	-11/+35	-11/+35	-11/+35	-10/+35	-7/+28	-5/+28
¹⁵ Bitola Média	n.a. /+32	-9/+32	-8/+27	-6/+20	-6/+20	-4/+20
¹⁶ Niv. Longitudinal D1	±31	±28	±26	±23	±20	±16
¹⁶ Niv. Longitudinal D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±33	±28
¹⁶ Alinhamento D1	±25	±22	±17	±14	±12	±10
¹⁶ Alinhamento D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±24	±20
¹⁷ Empeno (base 3 metros)	±21	±21	±21	±21	±15	±15

Anexo D

(Cálculo do índice de qualidade da geometria)

Com base no documento Nota Técnica de Via (NTV) – 003 Descrição geral do veículo de análise geométrica EM-120 Caminhos de Ferro Portugueses, E.P. Edição n.º01, é descrito o modo como é calculado o TQI.

Cálculo do índice global de Qualidade da Geometria

Em seguida apresenta-se segundo a figura 38 o modo como se comporta o centro de gravidade devido a defeitos de geometria de via.

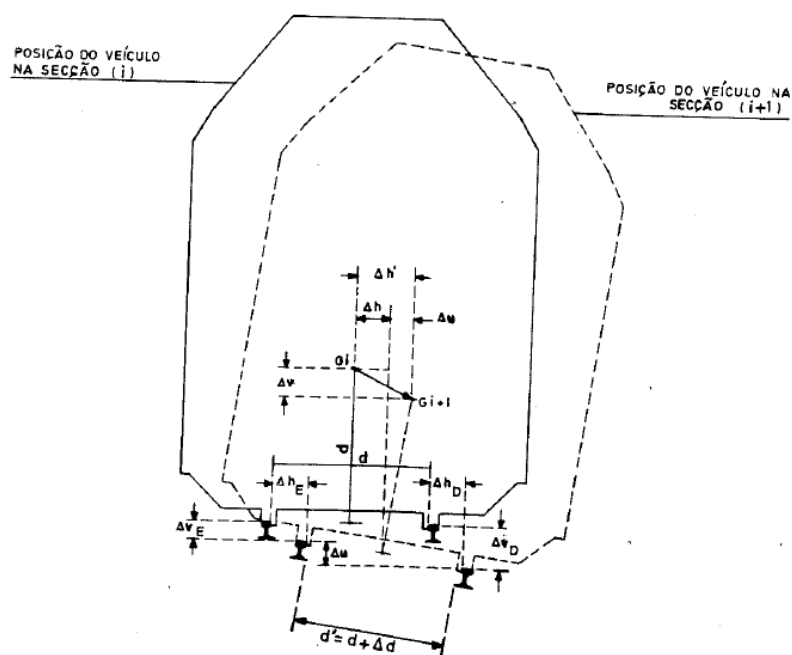


Figura 38 - Variação do centro de gravidade e da bitola devido aos defeitos da geometria da via

$$\Delta v_E = v_{Ei+1} - v_{Ei}, [1]$$

$$\Delta v_D = v_{Di+1} - v_{Di}, [2]$$

$$\Delta h_E = h_{Ei+1} - h_{Ei}, [3]$$

$$\Delta h_D = h_{Di+1} - h_{Di}, [4]$$

$$\Delta v = \frac{\Delta v_E + \Delta v_D}{2}, [5]$$

$$\Delta \mu = \Delta v_E - \Delta v_D, [6]$$

$$\Delta h = \frac{\Delta h_E + \Delta h_D}{2}, [7]$$

Em que:

v – Flecha medida na vertical [mm]

h – Flecha medida na horizontal [mm]

d – bitola da via [mm] = distância de G à mesa de rolamento e os respectivos índices têm o seguinte significado:

E – Carril esquerdo

D – Carril Direito

I – Secção i

I+1 – Secção i+1

Variações do Centro de Gravidade:

-Variação vertical Δv , [8]

- Variação horizontal $\Delta h + \Delta \mu$, [9]

- Variação total $\sqrt{\Delta v^2 + (\Delta h + \Delta \mu)^2}$, [10]

Variação da Bitola:

-Variação total Δd , relação à bitola padrão 1668 mm no veículo EM-120.

Dedução da relação entre o raio e a flecha (f)

A figura 39 traduz a relação entre o raio e a flecha.

$$R^2 = \left(\frac{S}{2}\right)^2 + (R - f)^2 \Leftrightarrow 2 \cdot R \cdot f = \frac{S^2}{4} + f^2 \Leftrightarrow f f = \frac{S^2}{8 \cdot R} + \frac{f^2}{2 \cdot R}, [11]$$

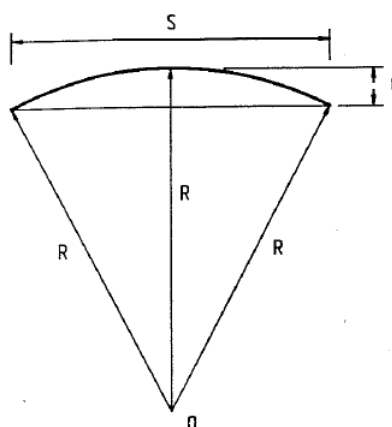


Figura 39 - Relação entre o raio, a

Como os valores de R respeitantes aos defeitos são muito grandes, conseqüentemente os valores de f são muito pequenos, o que leva a admitir que:

$$\frac{f^2}{2} \approx 0, [5.32]$$

Neste caso ficamos com a expressão simplificada $f^2 f = \frac{S^2}{8.R}$, [12]

Assim se conclui: Quanto maior for o Raio maior será a flecha, ou seja, maior será o defeito geométrico. Relativamente à aceleração centrífuga, quanto maior for, menor será o raio. A aceleração centrífuga varia proporcionalmente ao quadrado em relação à velocidade máxima praticada na linha.

Deste modo tem-se:

$$f_V = \frac{1000.S_V^2}{8.R_V} = \frac{125.S_V^2}{R_V}, [13]$$

$$f_H = \frac{1000.S_H^2}{8.R_H} = \frac{125.S_H^2}{R_H}, [14]$$

Em que:

f_V – Flecha vertical [mm]

f_H – Flecha horizontal [mm]

R_V – Raio vertical [m]

R_H – Raio horizontal [m]

S_V – Comprimento da corda vertical [m]

S_H – Comprimento da corda horizontal [m]

A aceleração centrípeta é dada pela seguinte expressão:

$$a' = \frac{V^2}{12,96.R_V} \text{ [m/s}^2\text{]}, \text{ [15]}$$

Em que:

a – Aceleração centrípeta [m/s²];

V – Velocidade máxima praticada na linha [Km/h];

R – Raio correspondente ao defeito geométrico [m];

12,96 – Constante para conversão de unidades da velocidade de Km/h para m/s.

Assim a relação entre as acelerações centrípetas e as flechas é a seguinte:

$$a'_V = \frac{V^2}{12,96.R_V} \text{ [m/s}^2\text{]}, \text{ [16]}$$

$$a'_H = \frac{V^2}{12,96.R_H} \text{ [m/s}^2\text{]}, \text{ [17]}$$

Atendendo à relação entre o raio e a flecha, tem-se:

$$R_V = \frac{125.S_V^2}{f_V} \text{ [m]}, \text{ [18]}$$

$$R_H = \frac{125.S_H^2}{f_H} \text{ [m]}, \text{ [19]}$$

O que permite escrever a relação entre as acelerações centrípetas e as flechas:

$$a'_V = \frac{V^2}{1620.S_V^2} \cdot f_V \text{ [m/s}^2\text{]}, \text{ [20]}$$

$$a'_H = \frac{V^2}{1620.S_H^2} \cdot f_H \text{ [m/s}^2\text{]}, \text{ [21]}$$

De igual modo se tem para as variações de aceleração:

$$\Delta a'_V = \frac{V^2}{1620.S_V^2} \cdot \Delta f_V \text{ [m/s}^2\text{]}, [22]$$

$$\Delta a'_H = \frac{V^2}{1620.S_H^2} \cdot \Delta f_H \text{ [m/s}^2\text{]}, [23]$$

Assim se conclui que as variações da aceleração centrífuga $\Delta a'$ dependem do quadrado da velocidade. Por outro lado significa também que se aumentarmos a velocidade para o dobro, os valores das flechas devem diminuir para um quarto do seu valor inicial.

Se os cálculos para diferentes classes de defeitos de via e para diferentes tipos de veículos, certamente que se obtém diferentes valores de desvio padrão da aceleração vertical, a qual é quase linearmente dependente da velocidade V.

Assim o somatório das variações da aceleração também é linearmente dependente da velocidade. No plano horizontal a situação é idêntica. Deste modo tem-se:

$$\Delta a'_V = K_1 \cdot V \cdot \Delta f_V, [24]$$

$$\Delta a'_H = K_2 \cdot V \cdot \Delta f_H, [25]$$

Em que as constantes K_1 e K_2 são dependentes do comprimento das cordas de medição utilizadas.

Finalmente obtém-se o Índice de Qualidade Global da Via (TQI)

$$TQI = K_3 \cdot AV^B \cdot \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \sqrt{\Delta v_i^2 + (|\Delta h_i| + |\Delta \mu_i|)^2}, [26]$$

Em que: A, B, K_1, K_2, K_3, K_4 – Constantes.

N – número de medições.

De acordo com a expressão do índice de qualidade, sempre que o numérico aumenta significa que a geometria da via se deteriora.

Uma vez que, o índice global de qualidade de via é um valor teórico é tratado como índice adimensional, visto que a sua principal utilidade é a classificação qualitativa da geometria da via.

Deste modo se conclui quanto maior for a variação total em relação ao centro de gravidade maior será o TQI, ou seja, menor será a qualidade da geometria de via.

Anexo E

(Gráficos do VIV02 EM 120, referentes às secções tipo analisadas)

134, 086 EMPRESA: 12 Uni.Operacional: CENTRO/NORTE PÁGINA 17
 LINHA: L.Norte VIA: VA
 INICIO: Entroncamento FIM: Aveiro
 DATA: 05.04.2010 SEQUÊNCIA: ASC.
 FICHEIRO: Entronc_Aveiro.DAT

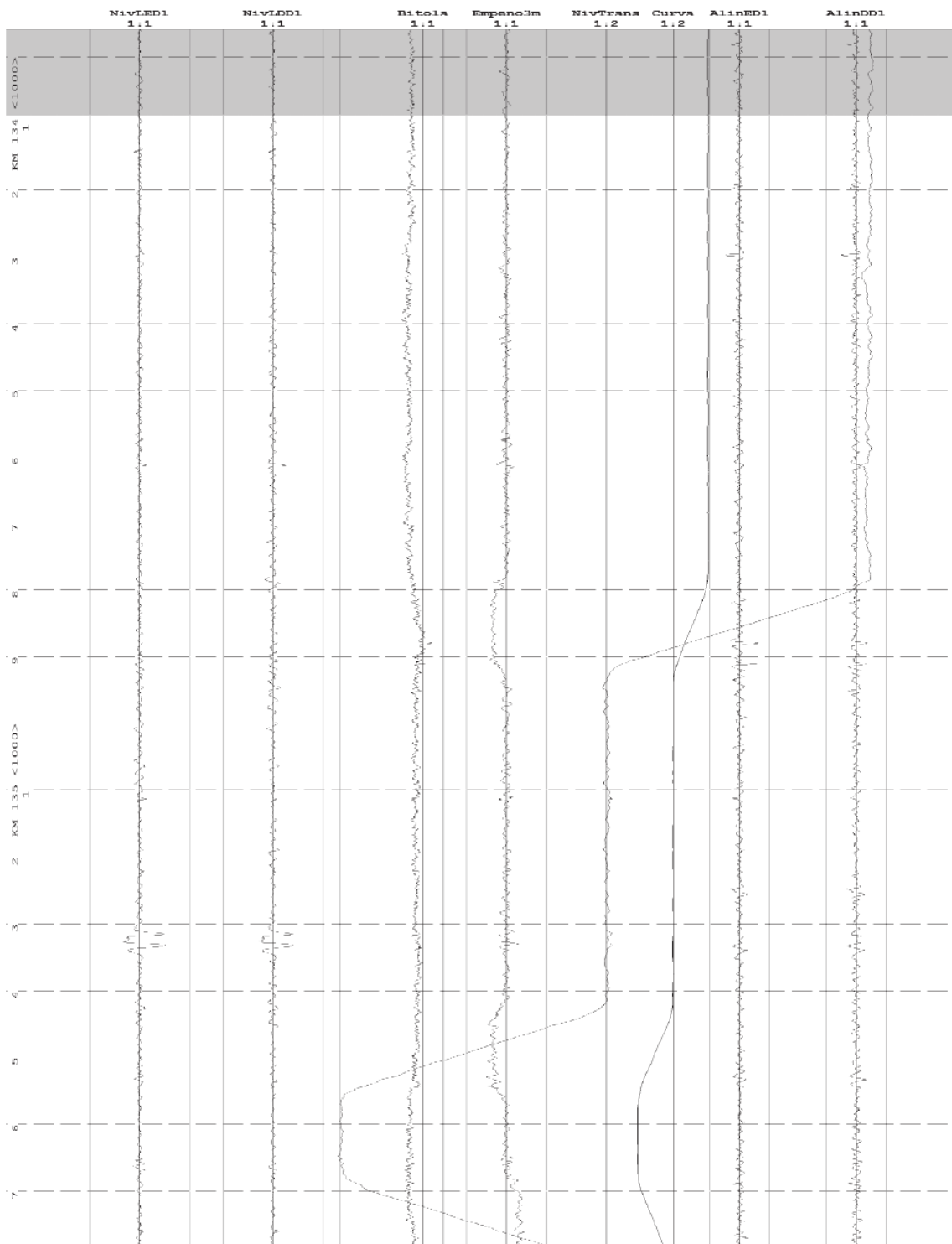


Gráfico 5- Gráfico referente à secção tipo 1com análise iniciada ao KM 135.400

135, 786

EMPRESA: 12 Uni. Operacional: CENTRO/NORTE
 LINHA: L.Norte VIA: VA
 INICIO: Entrocamento FIM: Aveiro
 DATA: 05.04.2010 SEQUÊNCIA: ASC.
 FICHEIRO: Entronc_Aveiro.DAT

PÁGINA 18

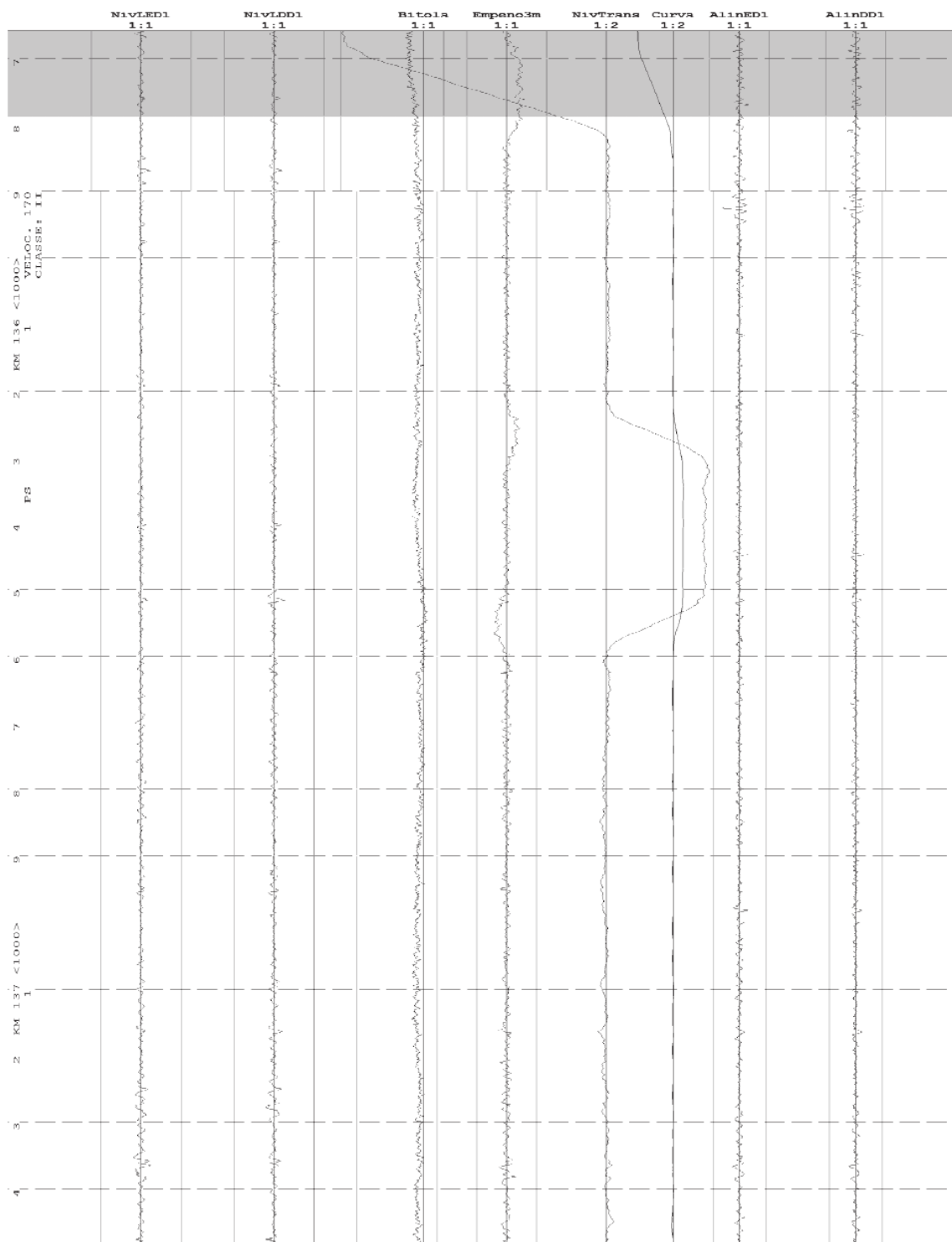


Gráfico 6- Gráfico referente à secção tipo 1 com análise finalizada ao KM 136.605

165, 686

EMPRESA: S Uni Operacional: CENTRO
 LINHA: L.Leste VIA: VU
 INICIO: Abrantes FIM: Elvas
 DATA: 09.04.2010 SEQUÊNCIA: ASC.
 FICHEIRO: AbrElvas_VU_01.DAT

PÁGINA 19

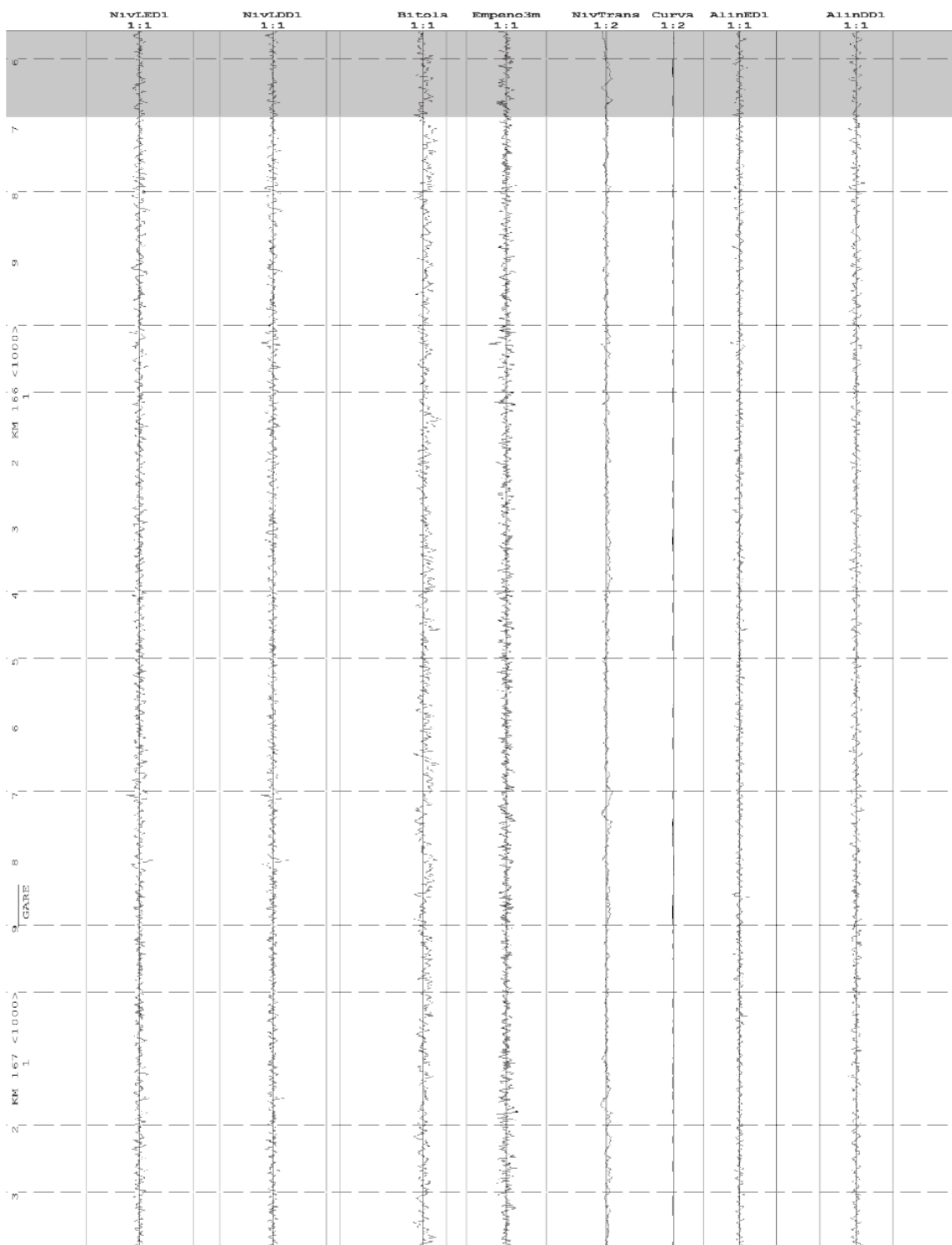


Gráfico 7 - Gráfico referente à secção tipo 2 com análise iniciada ao KM 167.001

194, 480

EMPRESA: 6
 LINHA: L.Leste
 INICIO: Torre
 DATA: 09.04.2010
 FICHEIRO: Torre - Elvas.DAT

Uni.Operacional: CENTRO
 VIA: VU
 SIM: Elvas
 SEQUÊNCIA: ASC.

PÁGINA 37

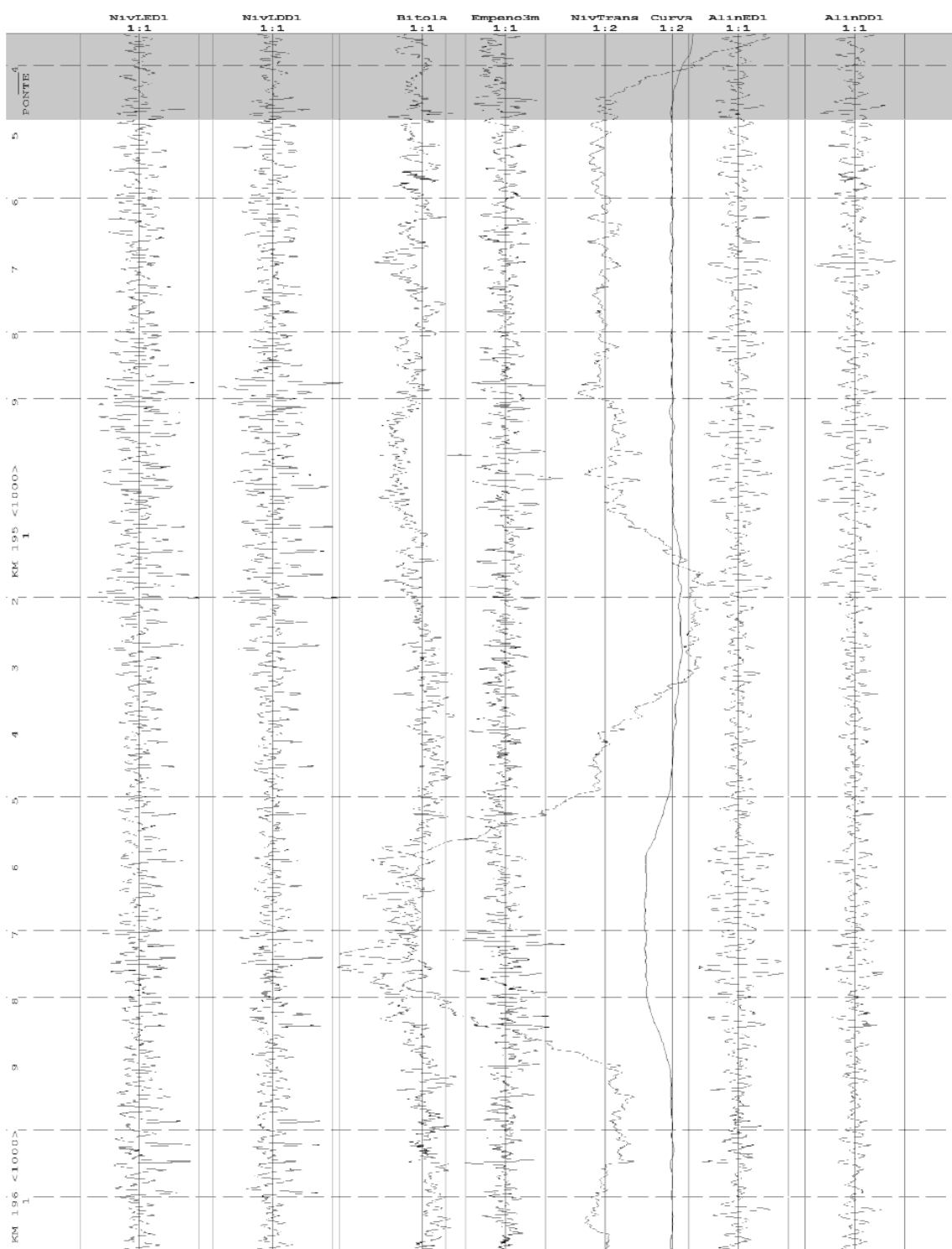


Gráfico 9 - Gráfico referente à secção tipo 3 com análise iniciada ao KM 195.000

196, 180

EMPRESA: 6
 LINHA: 1: Leste
 INICIO: Torre
 DATA: 09.04.2010
 FICHEIRO: Torre - Elvas.DAT

Uni. Operacional: CENTRO

VIA: VI

FIM: Elvas

SEQUÊNCIA: ASC.

PÁGINA 38

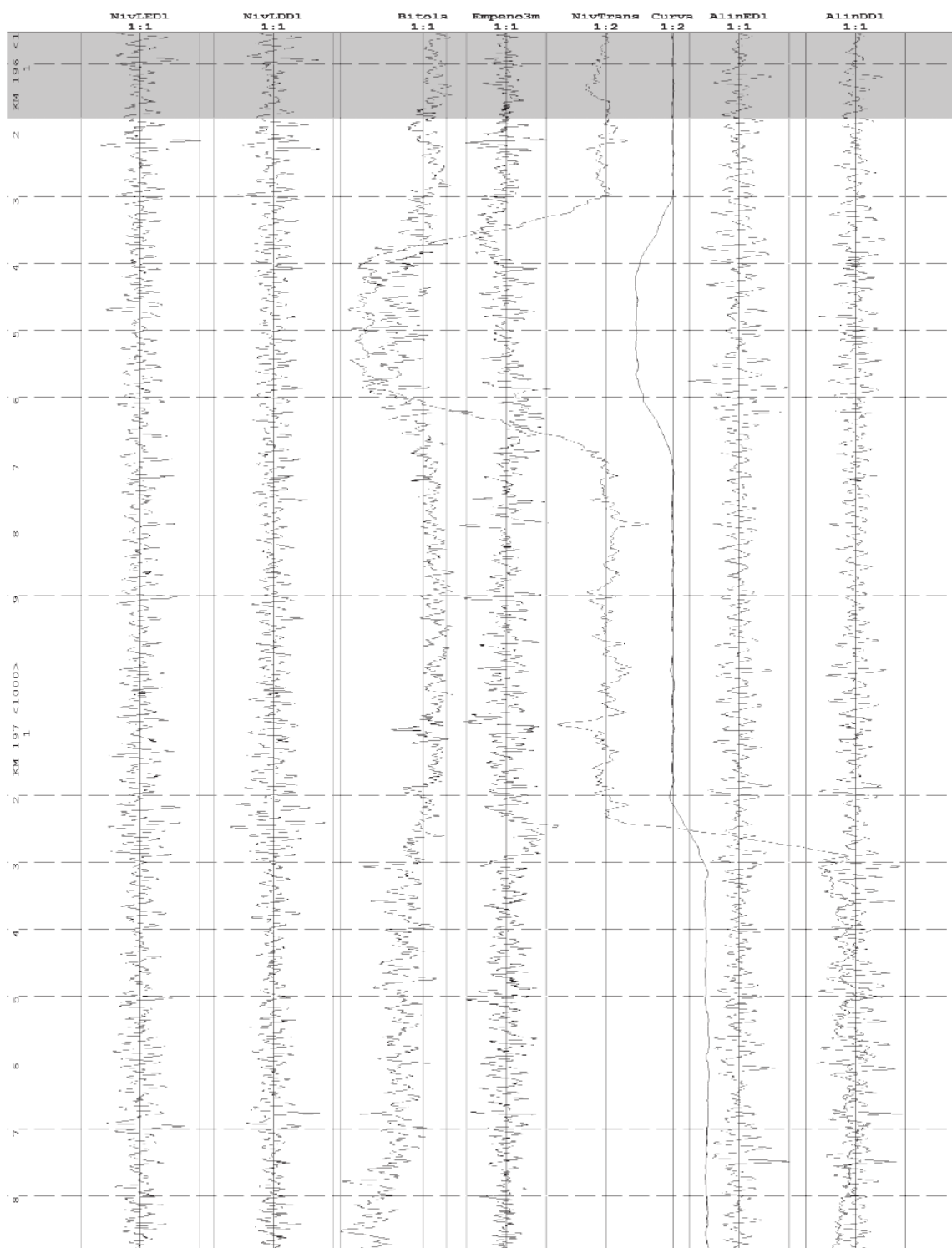


Gráfico 10 - Gráfico referente à secção tipo 2 com análise entre KM 196.000 e KM 197.850

197, 880 EMPRESA: 6 Uni.Operacional: CENTRO PÁGINA 39
 LINHA: 2.Leste VIA: VU
 INICIO: Torre FIM: Elvas
 DATA: 09.04.2010 SEQUÊNCIA: ASC.
 FICHEIRO: Torre - Elvas.DAT

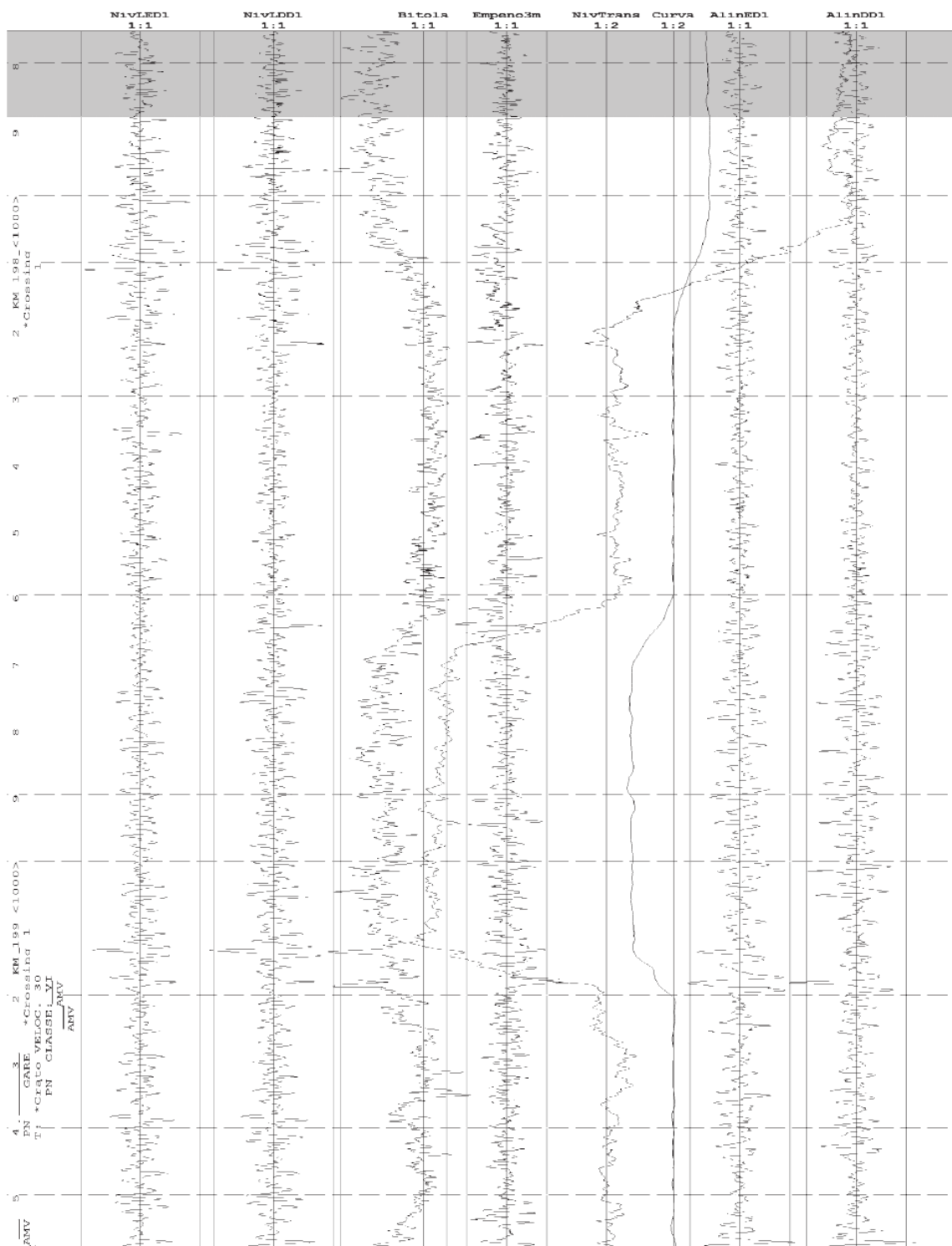
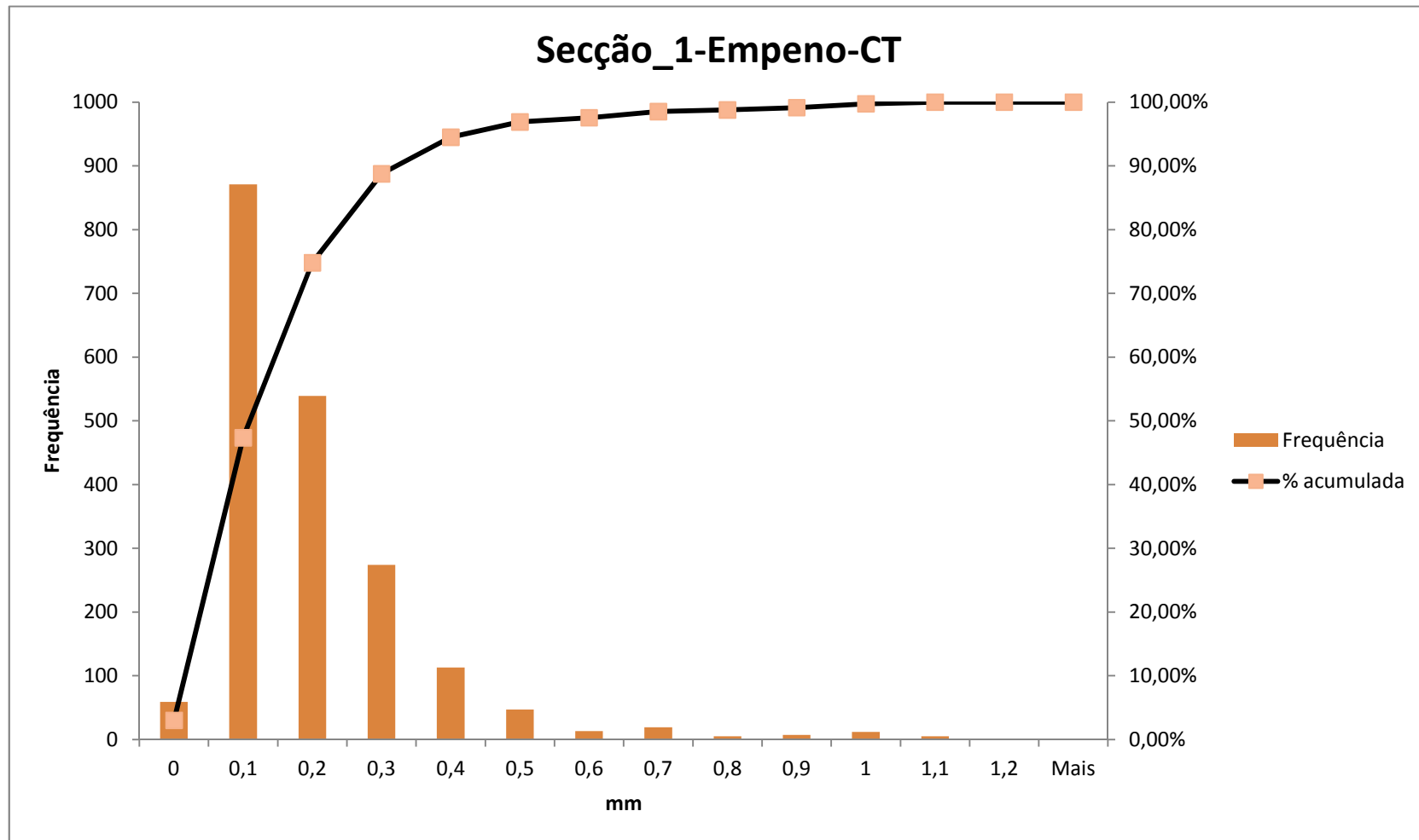


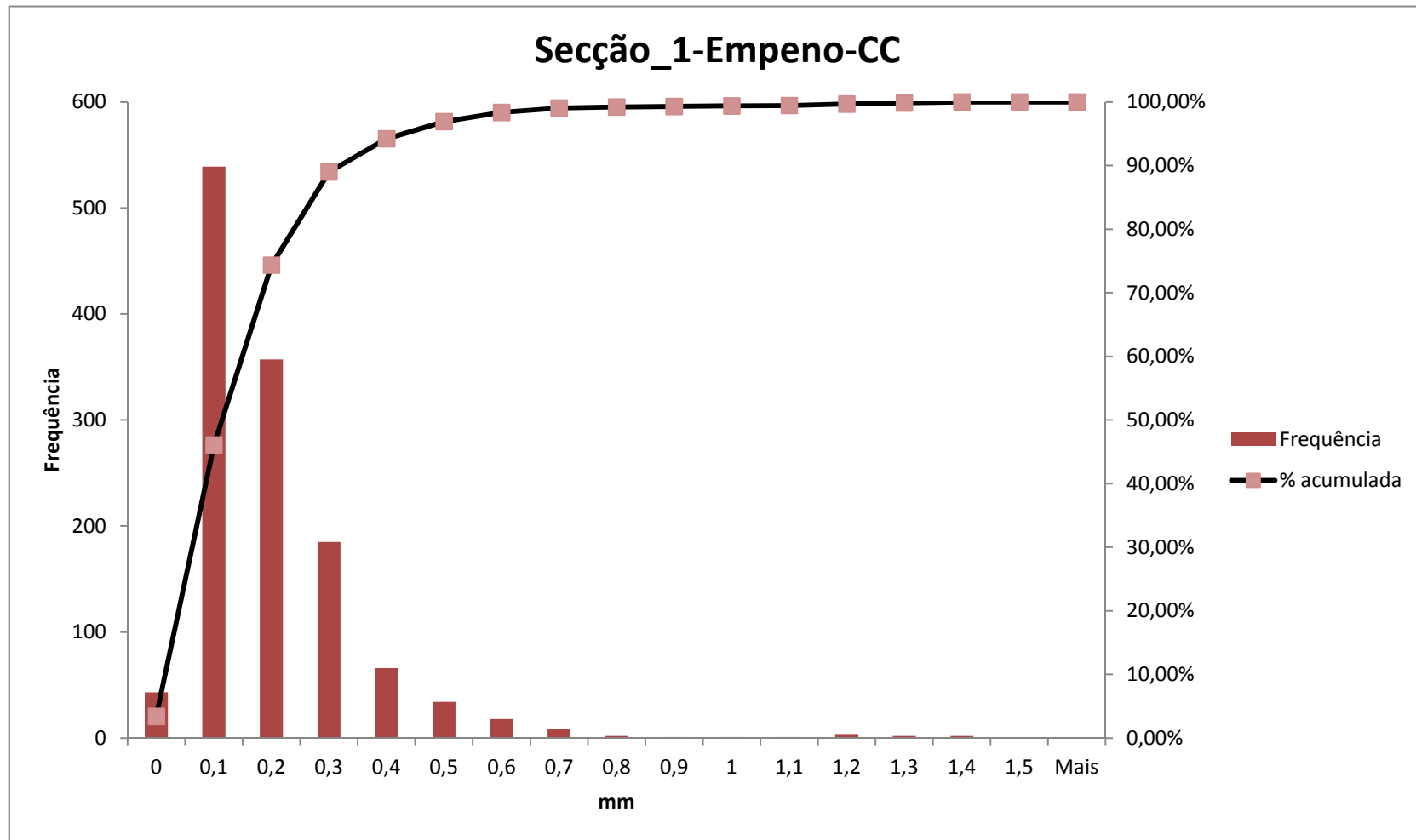
Gráfico 11 - Gráfico referente à secção tipo 2 com análise finalizada ao KM 198.201

Anexo F

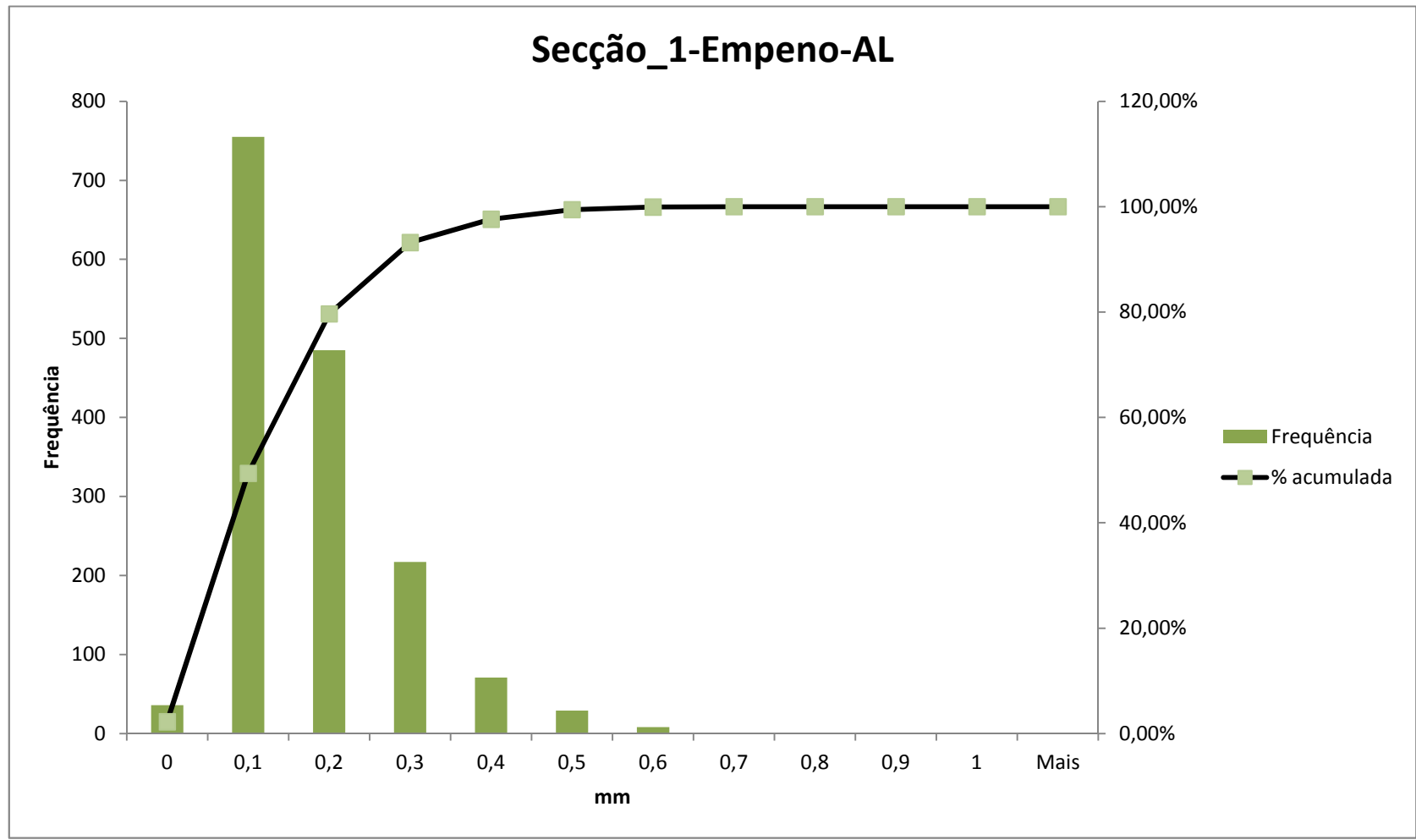
(Histogramas referentes à secção tipo 1)



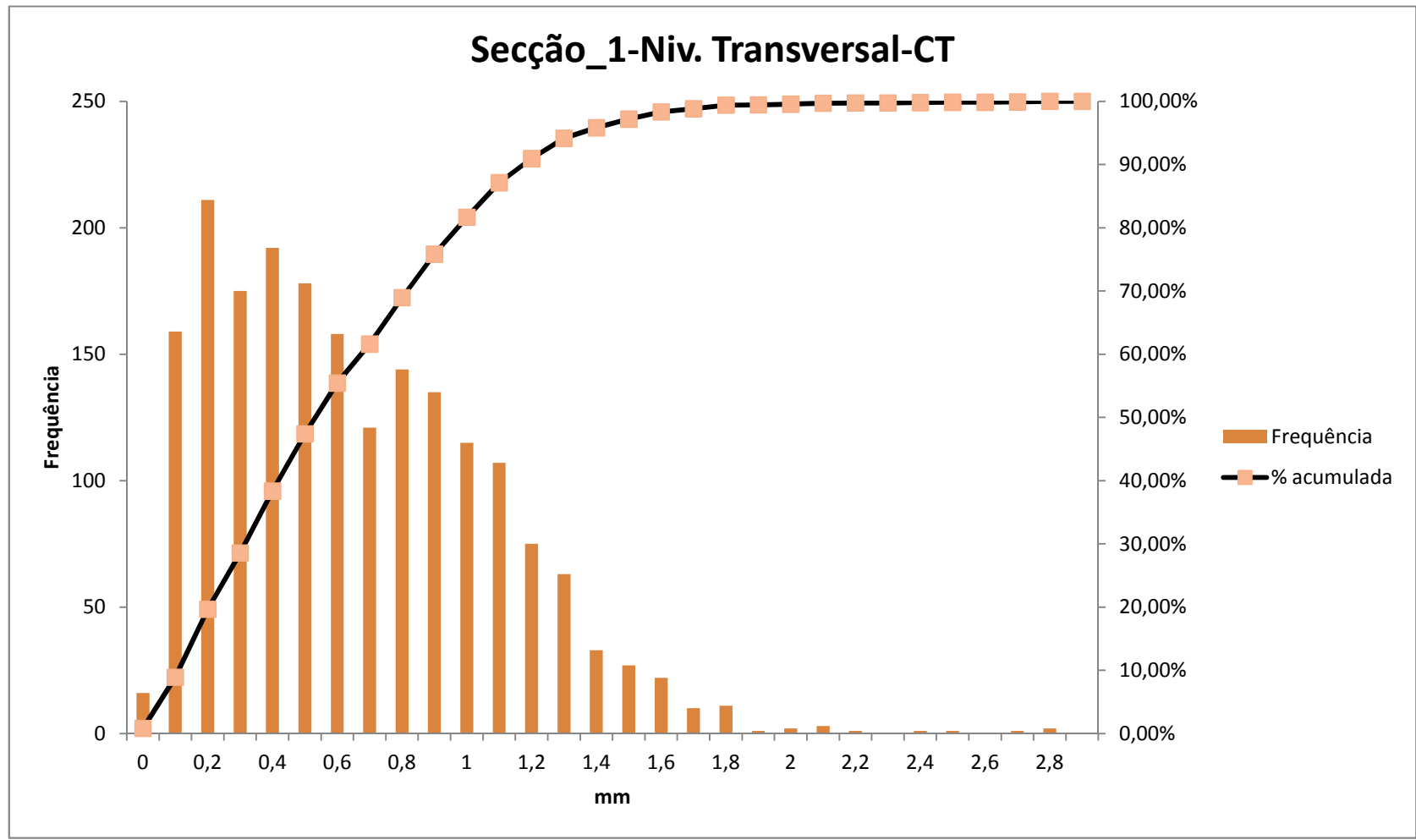
Histograma 10 – Secção tipo 1, parâmetro empeno ao longo da curva de transição



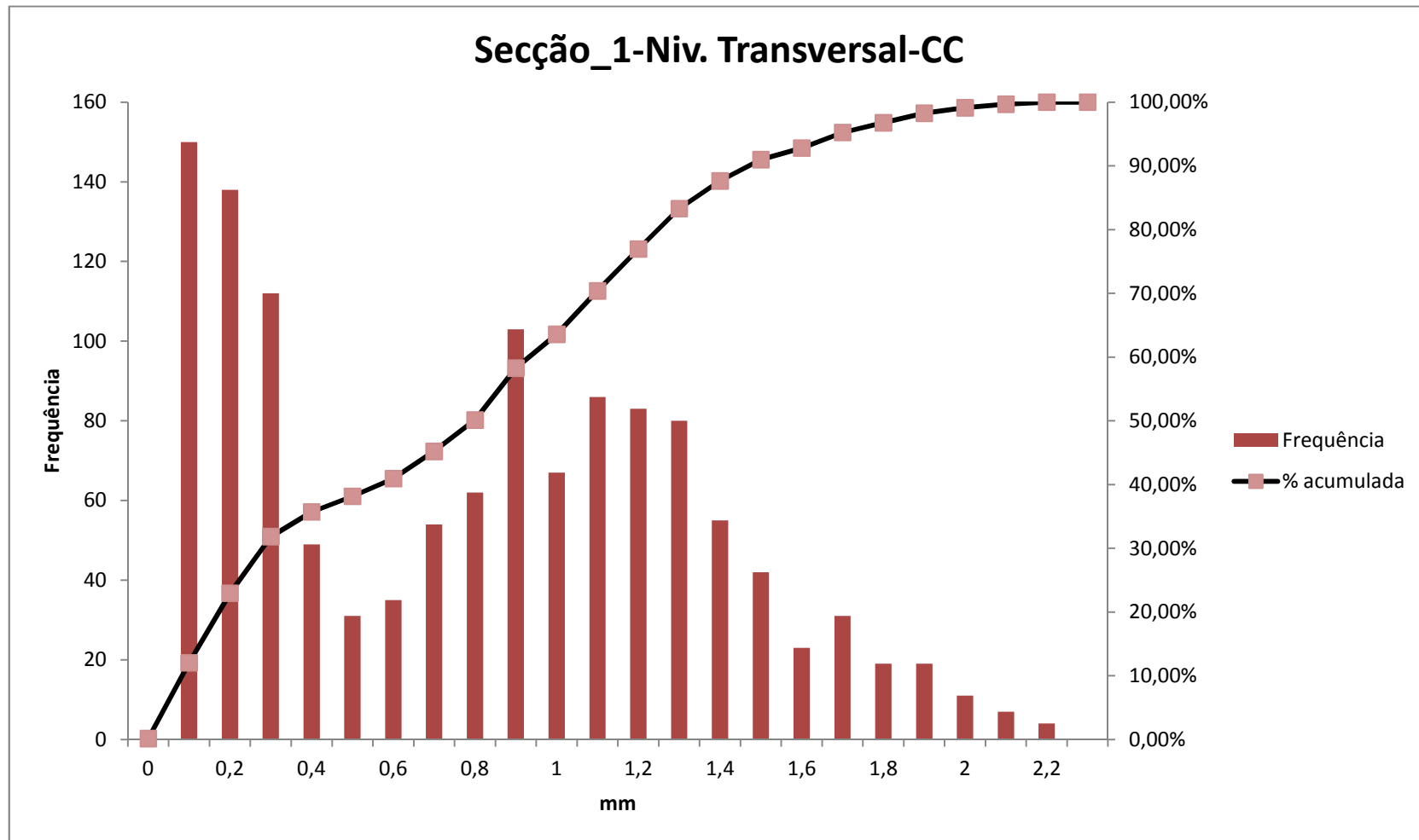
Histograma 11 – Secção tipo 1, parâmetro empeno ao longo da curva circular



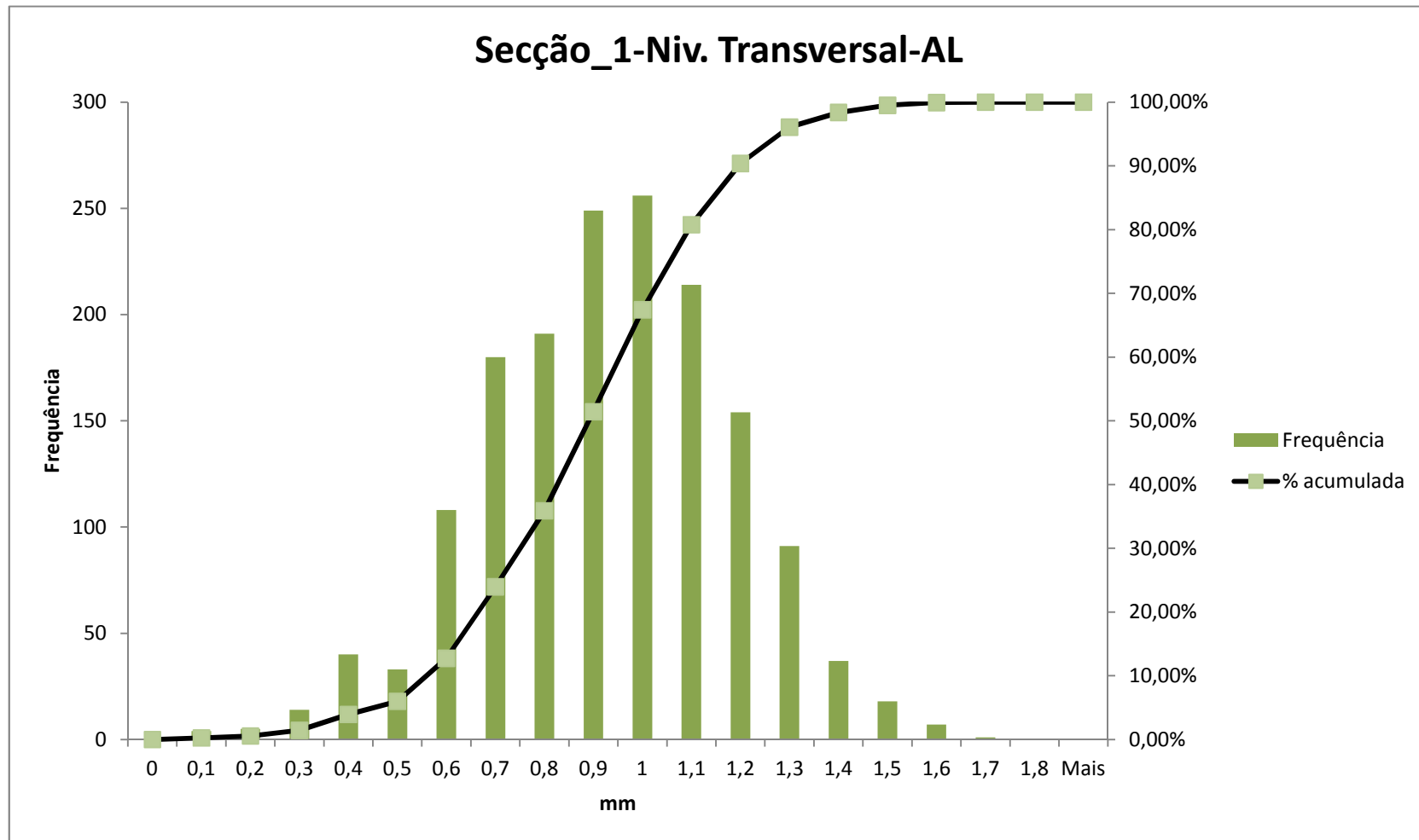
Histograma 12 – Secção tipo 1, parâmetro empeno ao longo alinhamento recto



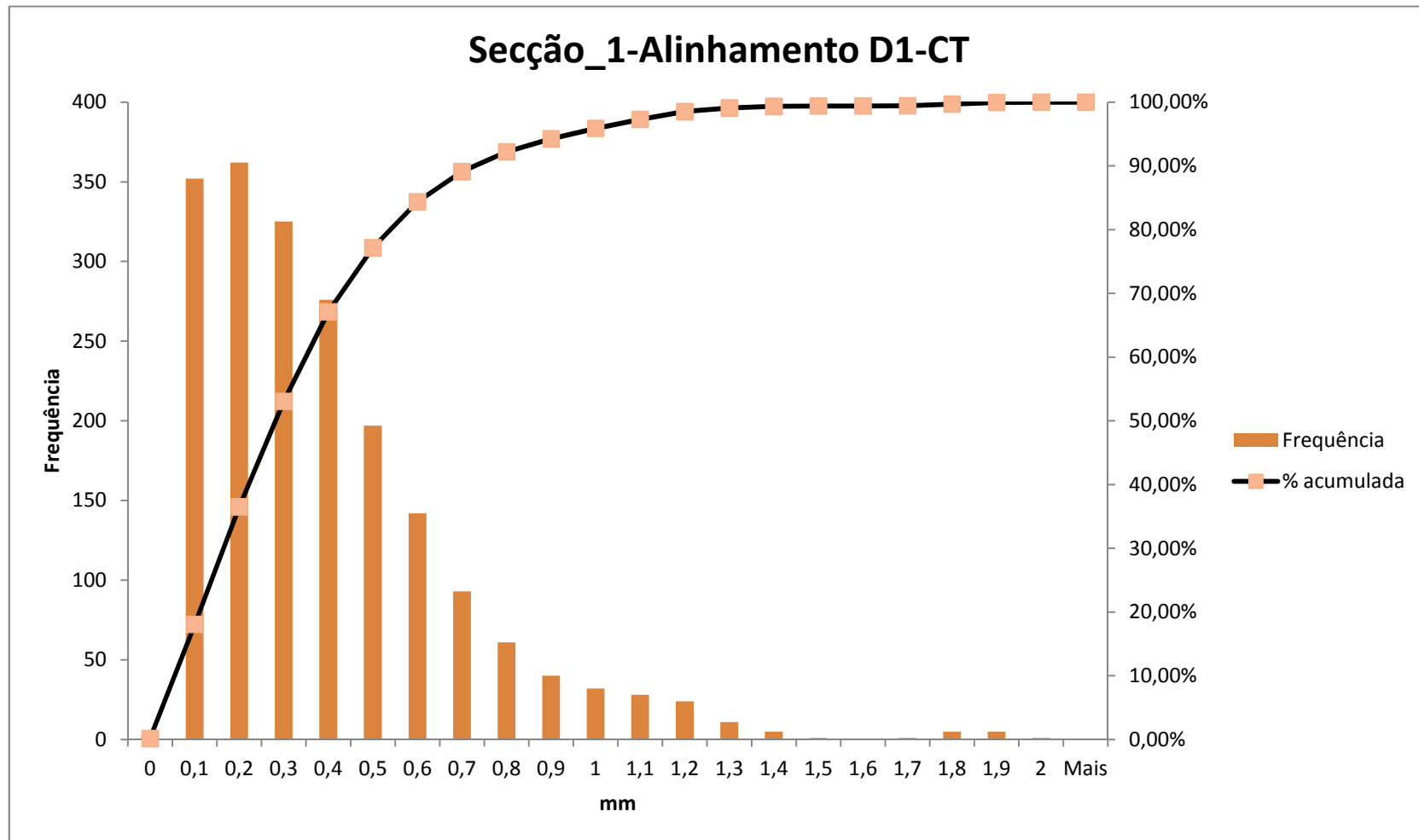
Histograma 13 – Secção tipo 1, parâmetro nivelamento transversal ao longo da curva de transição



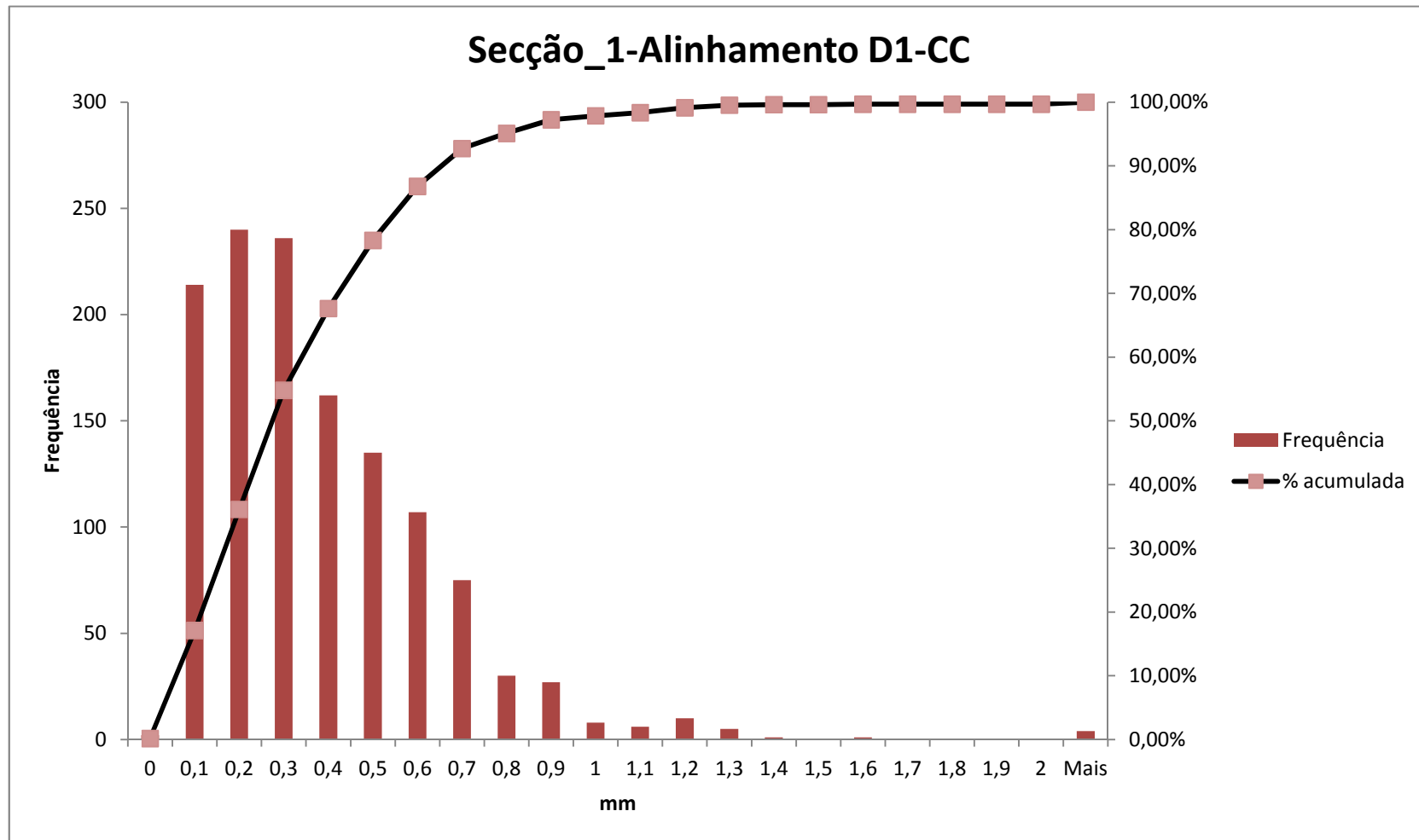
Histograma 14 – Secção tipo 1, parâmetro nivelamento transversal ao longo da curva circular



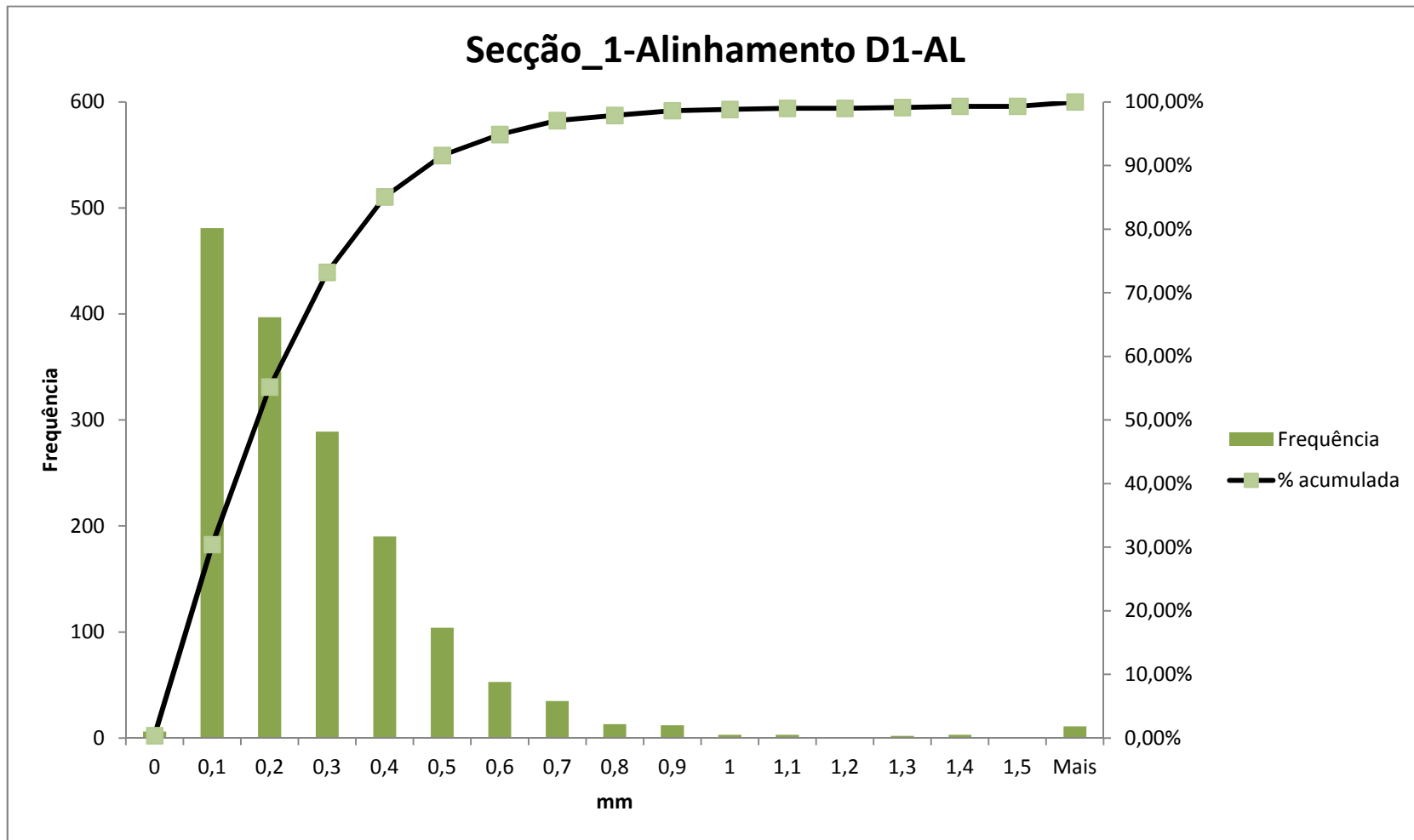
Histograma 15 – Secção tipo 1, parâmetro nivelamento transversal ao longo do alinhamento recto



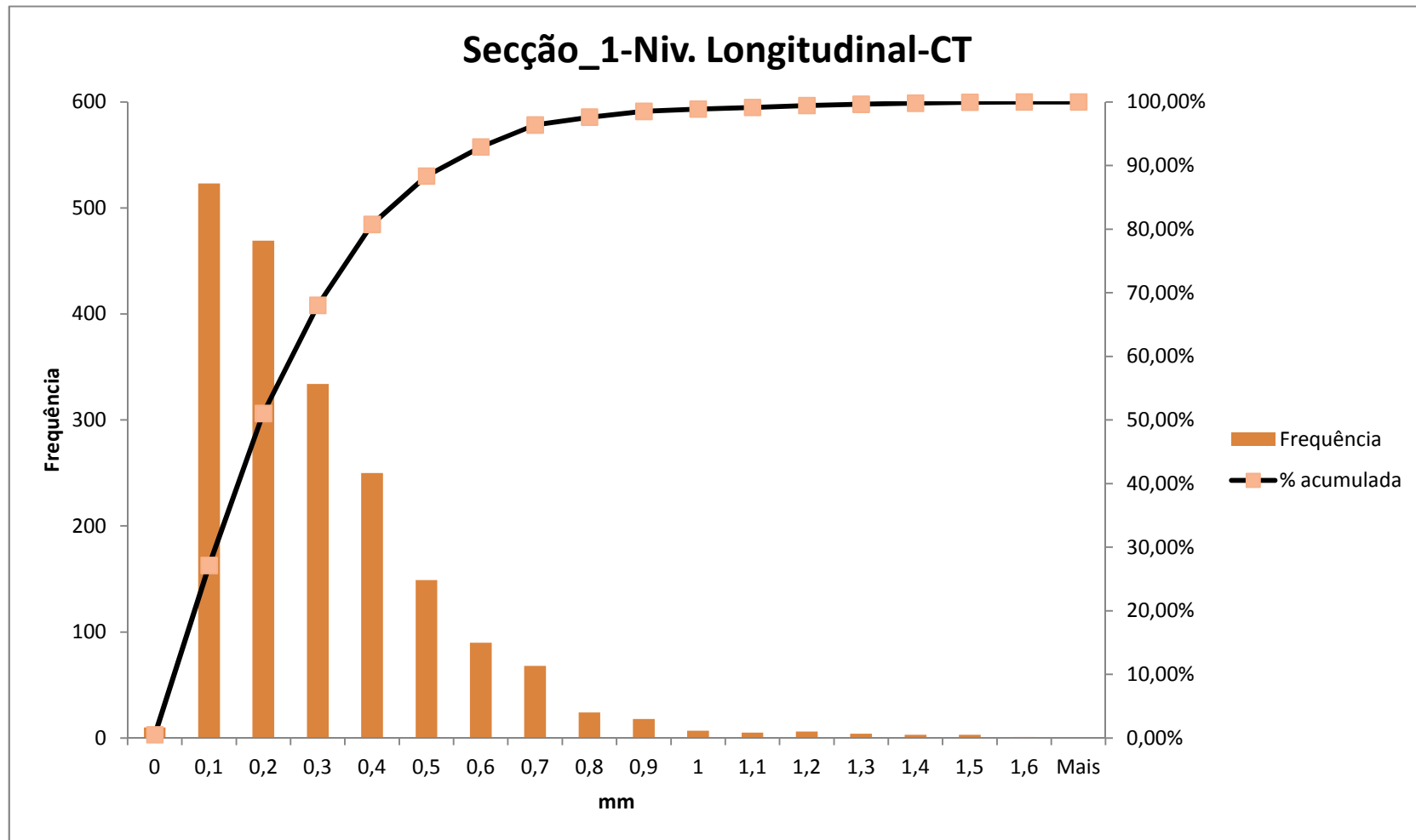
Histograma 16 – Secção tipo 1, parâmetro alinhamento ao longo da curva de transição



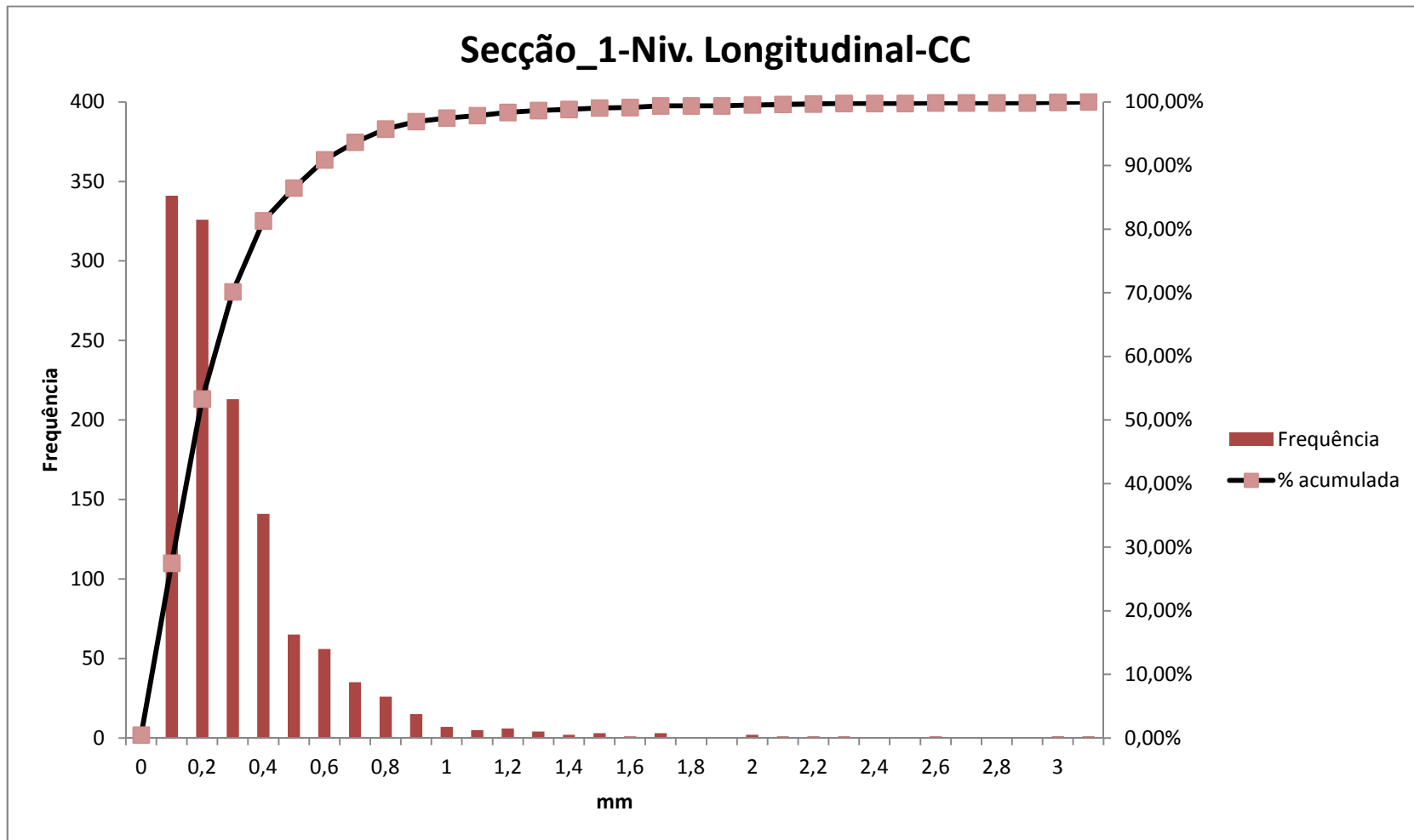
Histograma 17 – Secção tipo 1, parâmetro alinhamento ao longo da curva circular



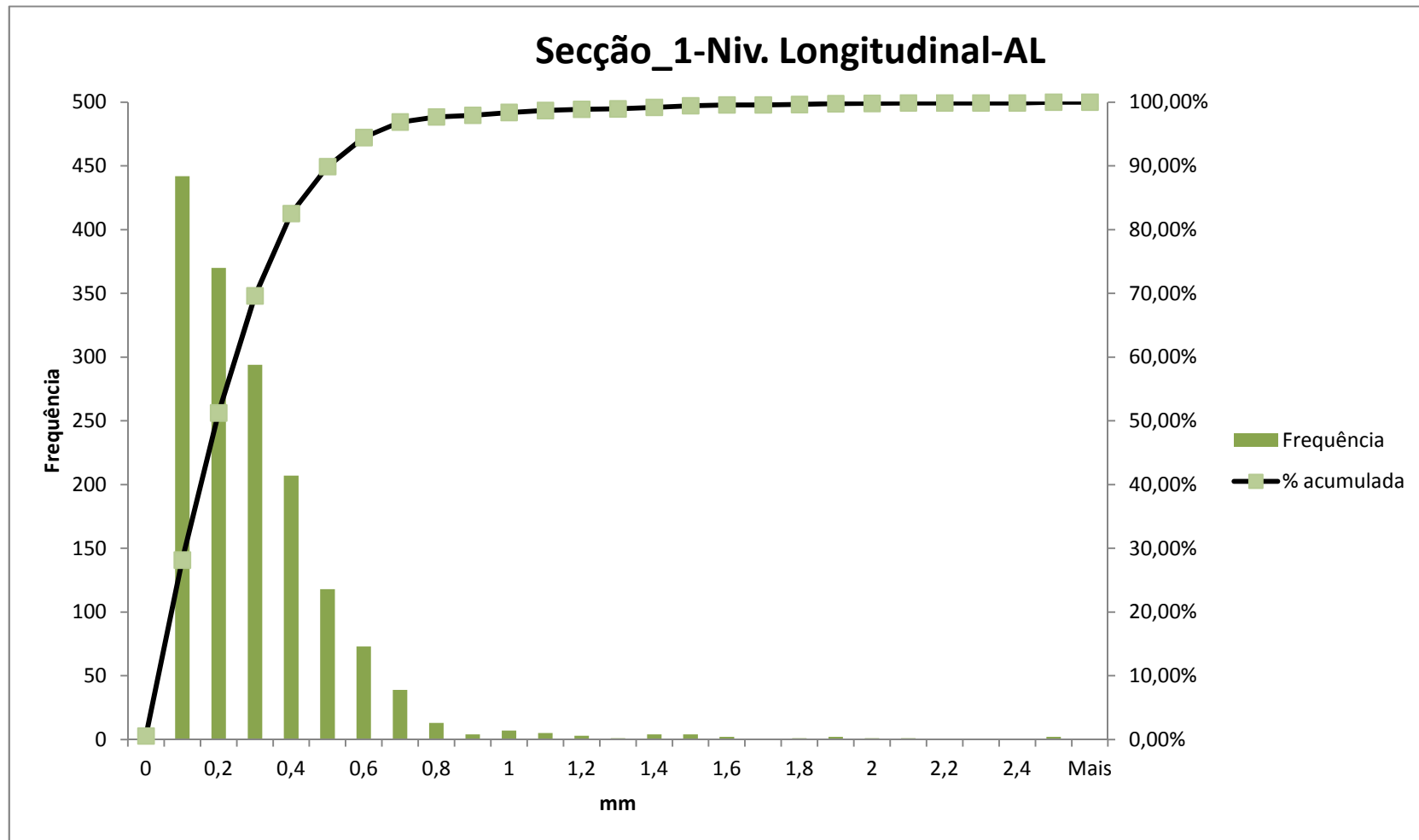
Histograma 18 – Secção tipo 1, parâmetro alinhamento ao longo do alinhamento recto



Histograma 19 – Secção tipo 1, parâmetro nivelamento longitudinal ao longo da curva de transição



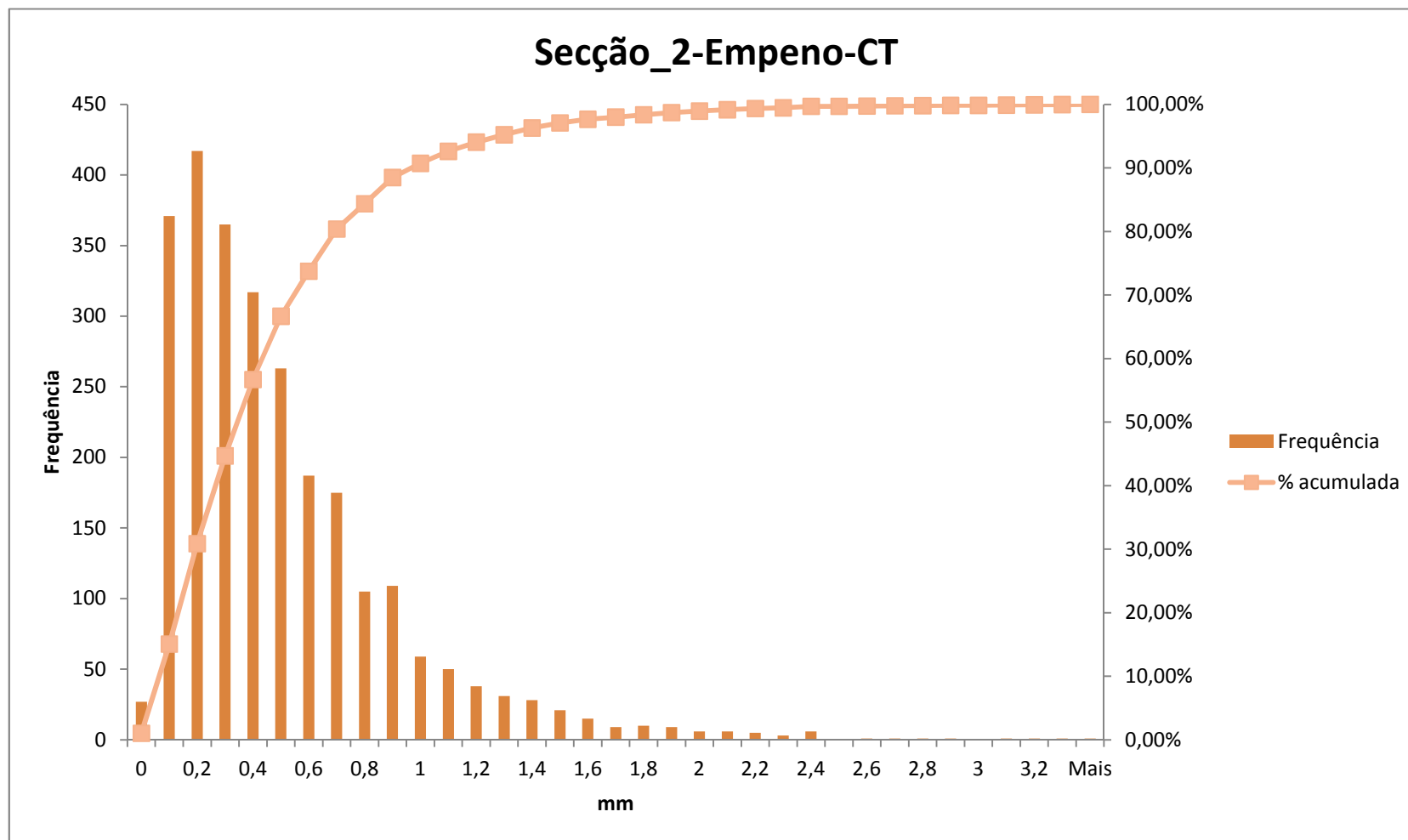
Histograma 20 – Secção tipo 1, parâmetro nivelamento longitudinal ao longo da curva circular



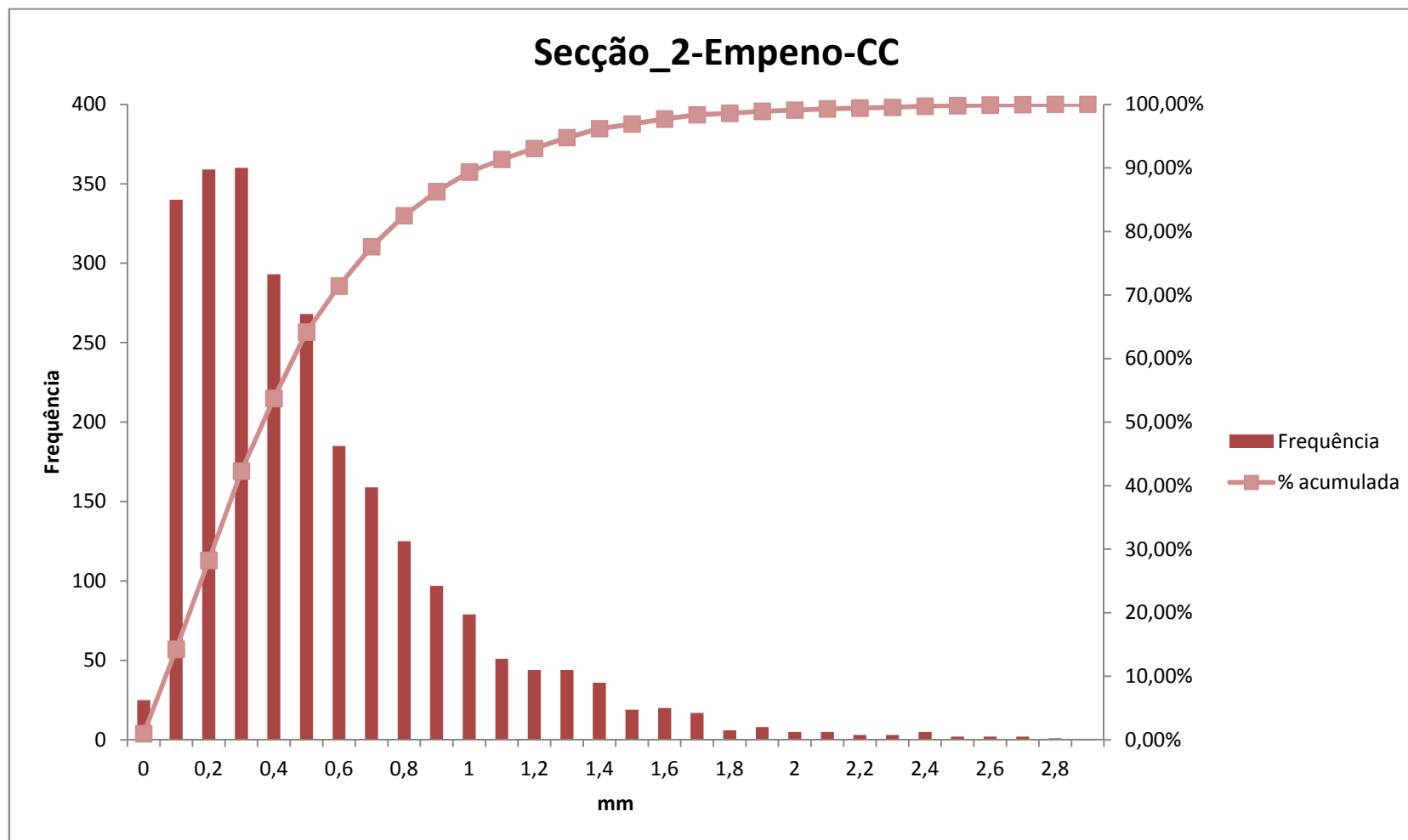
Histograma 21 – Secção tipo 1, parâmetro nivelamento longitudinal ao longo do alinhamento recto

Anexo G

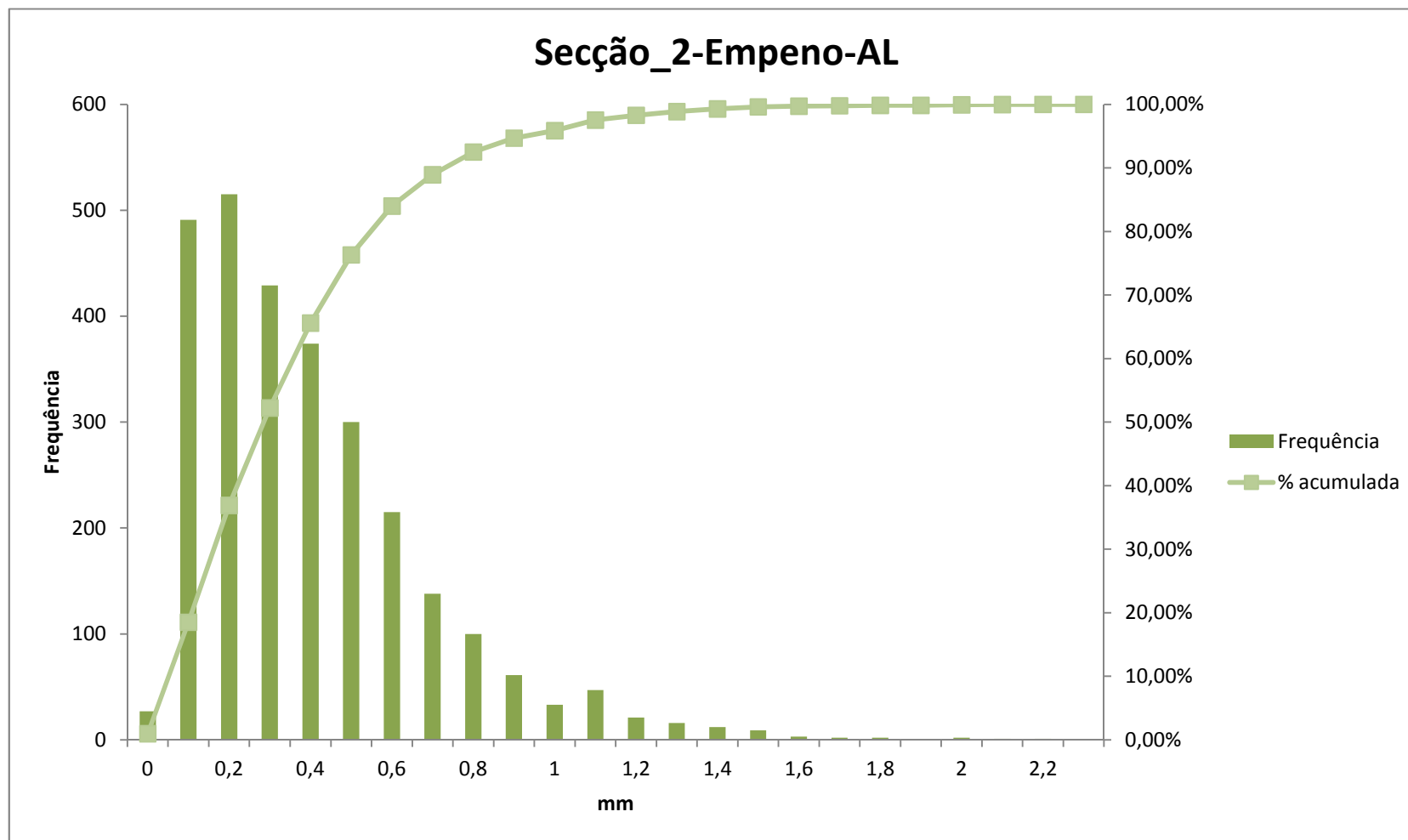
(Histogramas referentes à secção tipo 2)



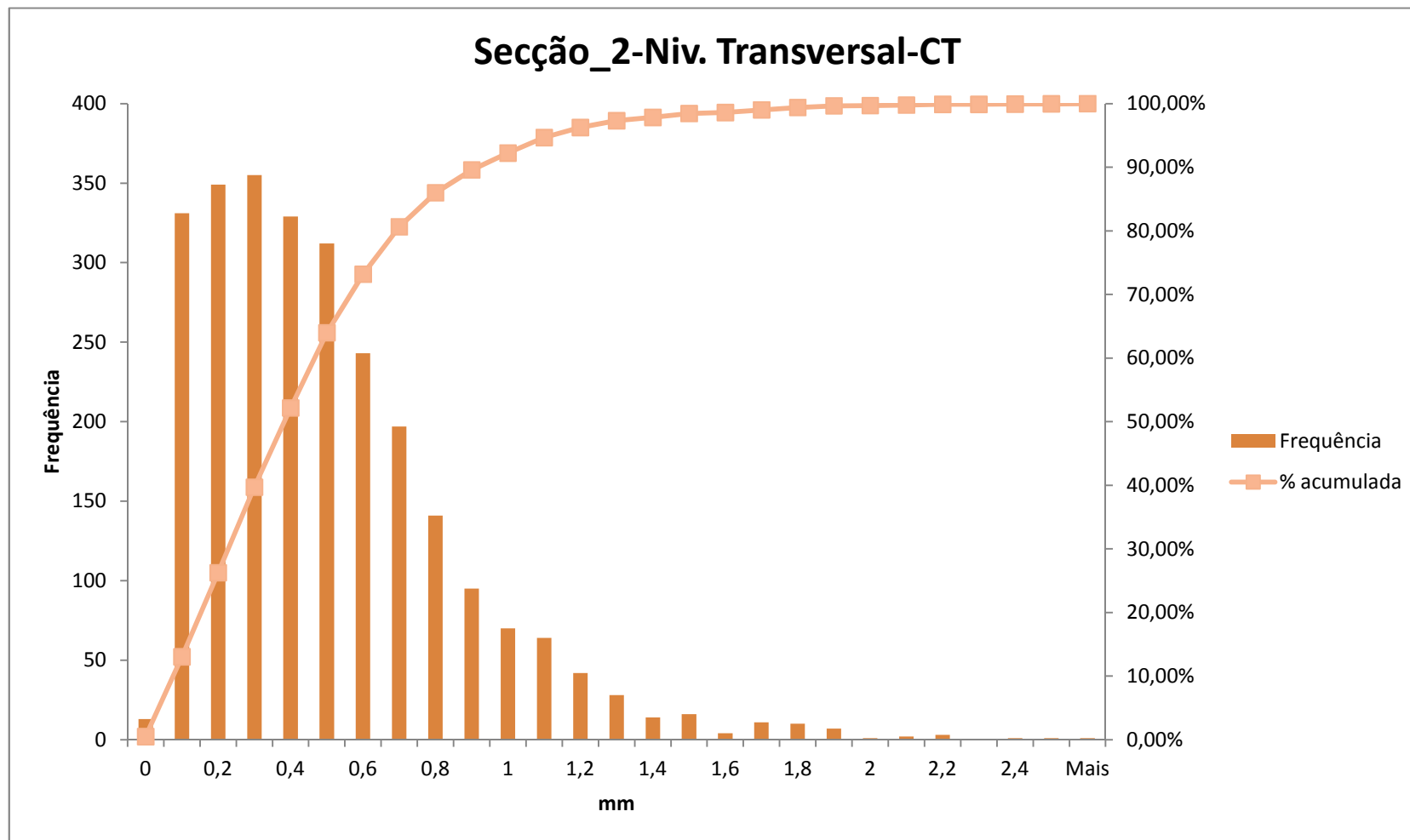
Histograma 22 – Secção tipo 2, parâmetro empeno ao longo da curva de transição



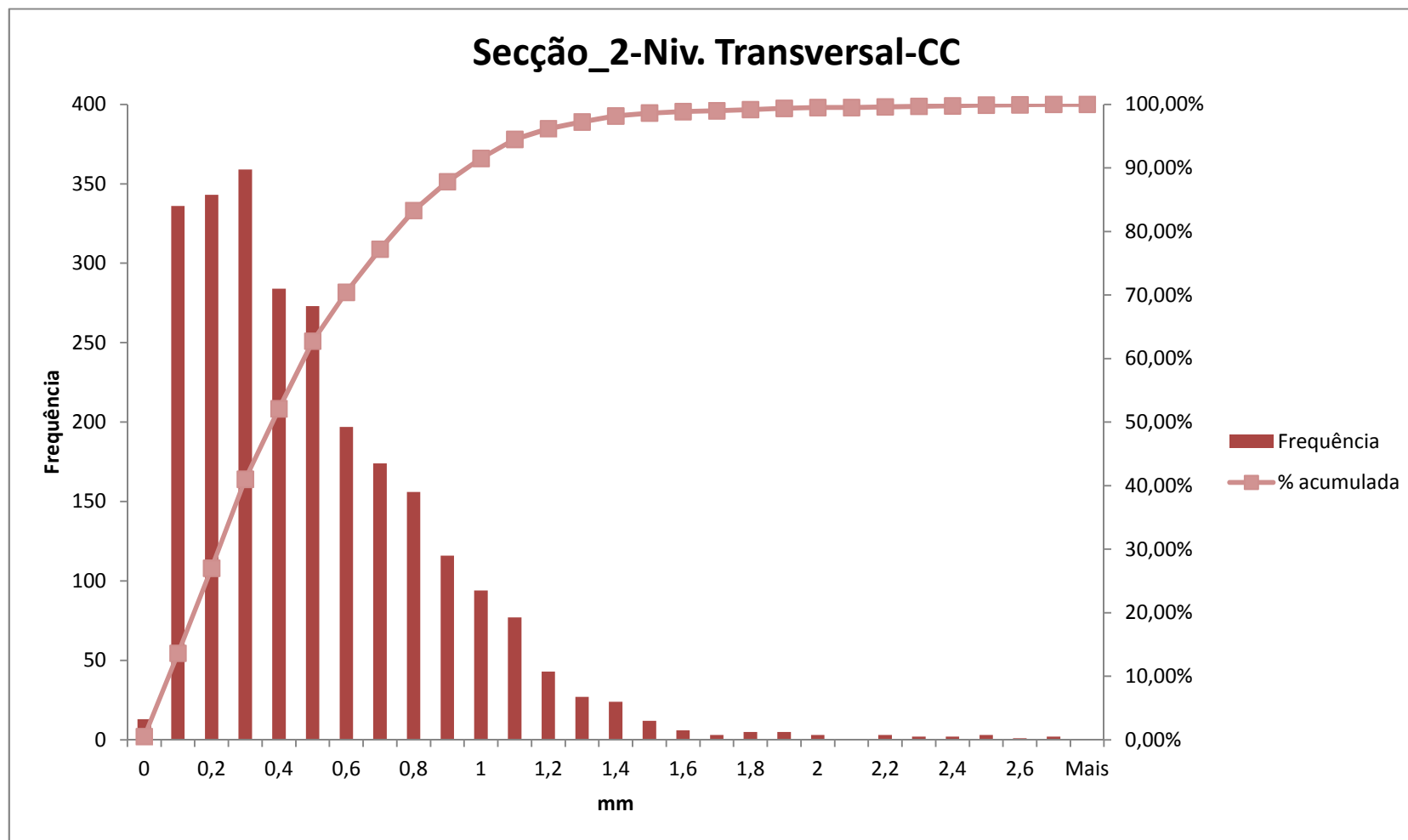
Histograma 23 – Secção tipo 2, parâmetro empeno ao longo da curva circular



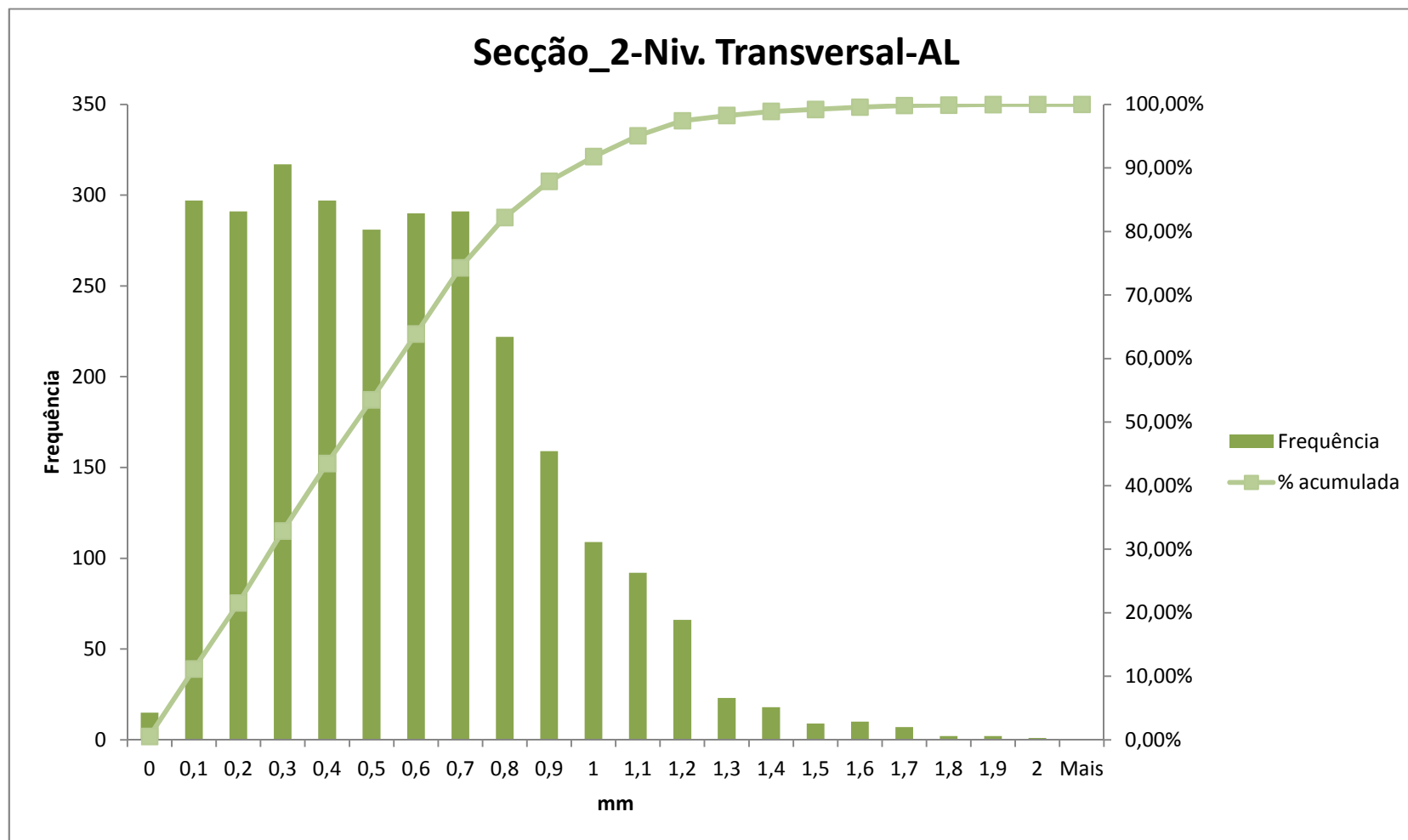
Histograma 24 – Secção tipo 2, parâmetro empeno ao longo do alinhamento recto



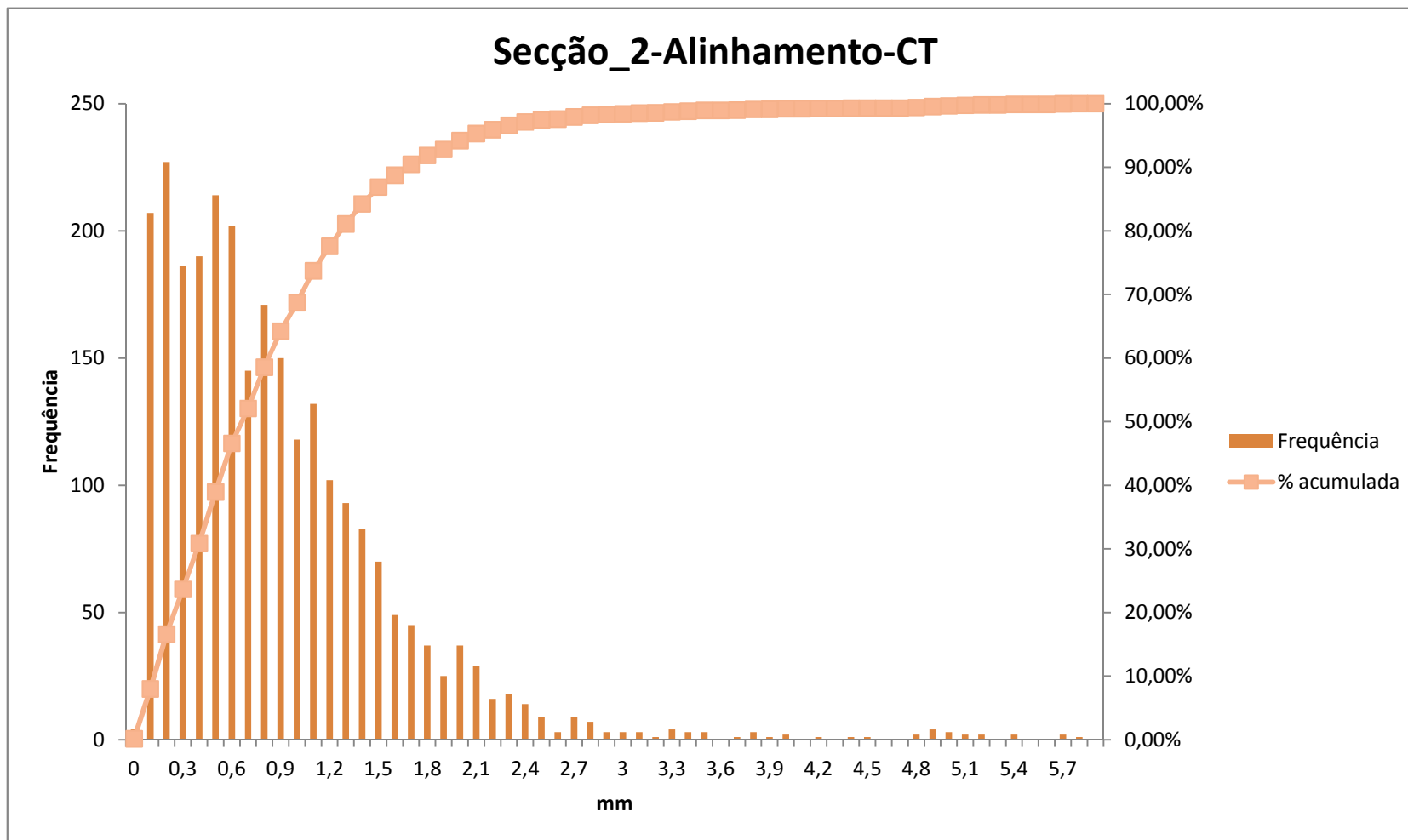
Histograma 25 – Secção tipo 2, parâmetro nivelamento transversal ao longo da curva de transição



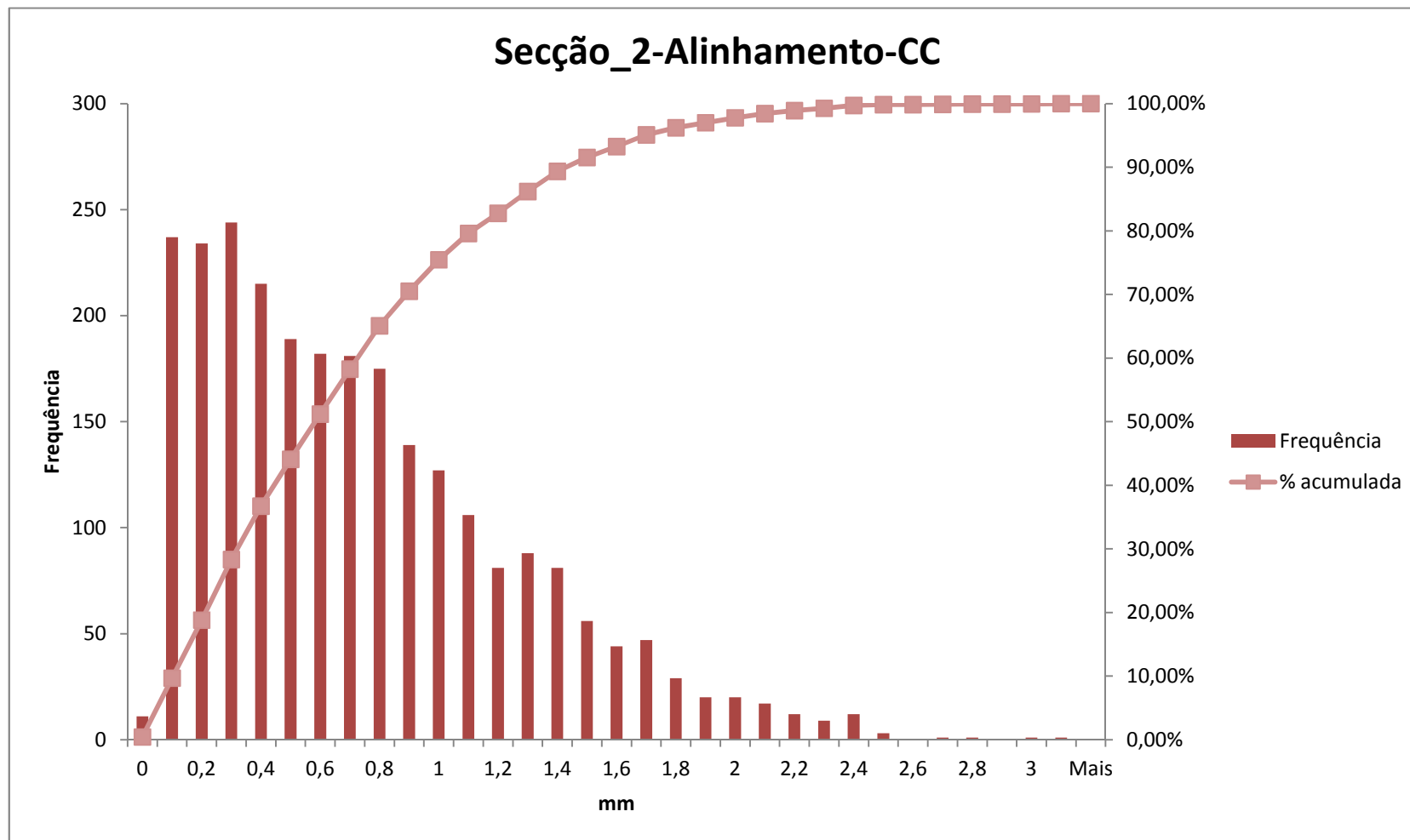
Histograma 26 – Secção tipo 2, parâmetro nivelamento transversal ao longo da curva circular



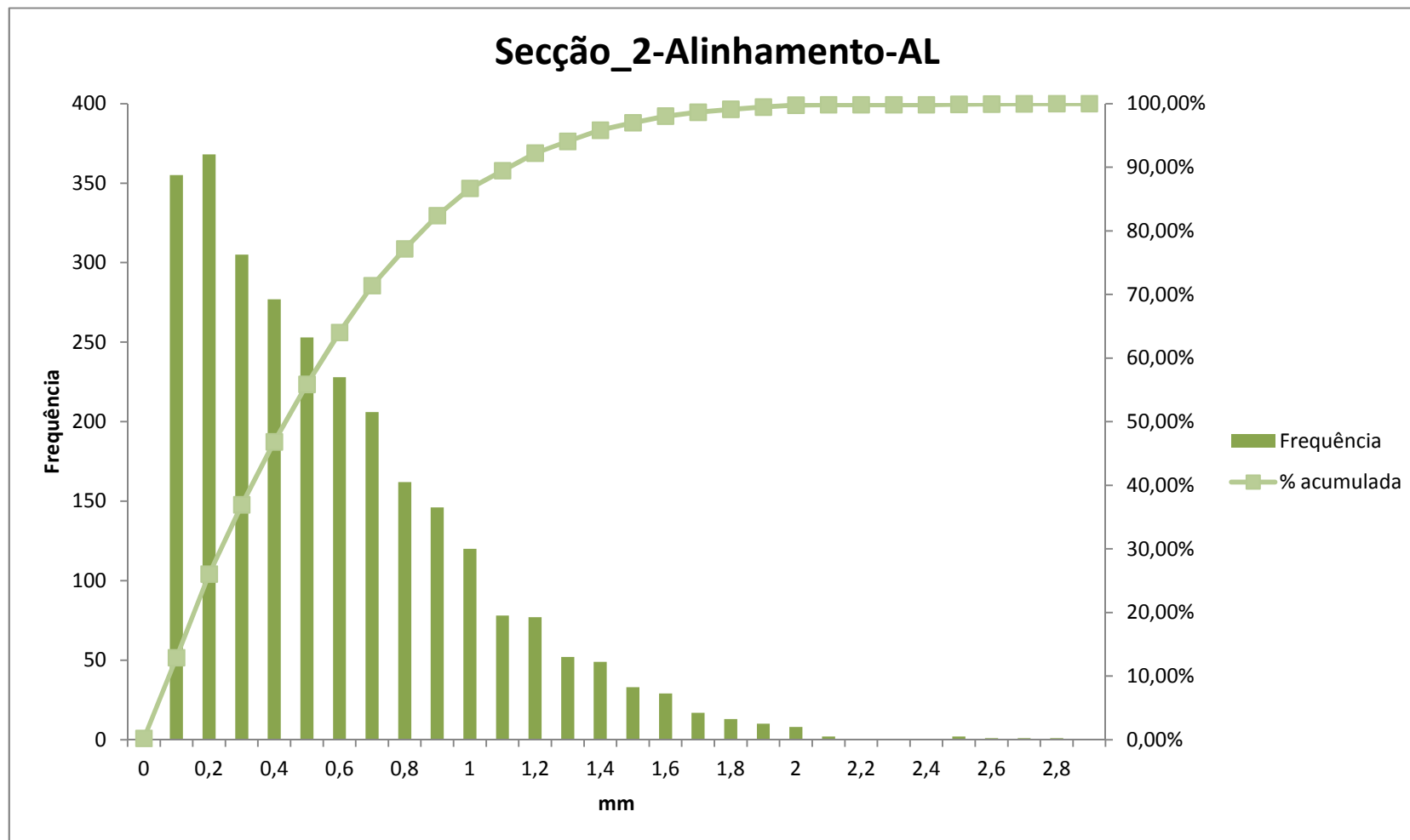
Histograma 27 – Secção tipo 2, parâmetro nivelamento transversal ao longo do alinhamento recto



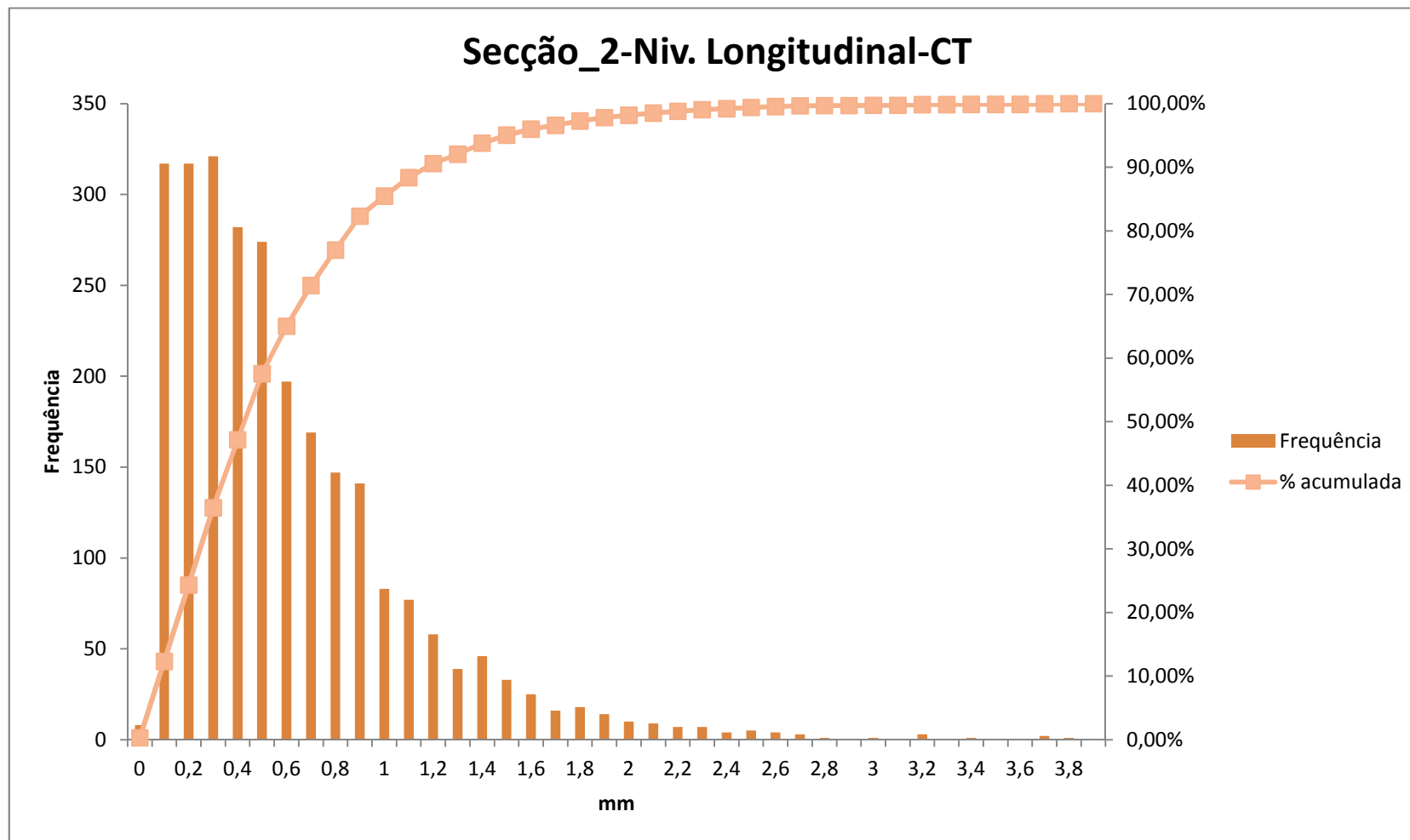
Histograma 28 – Secção tipo 2, parâmetro alinhamento ao longo da curva de transição



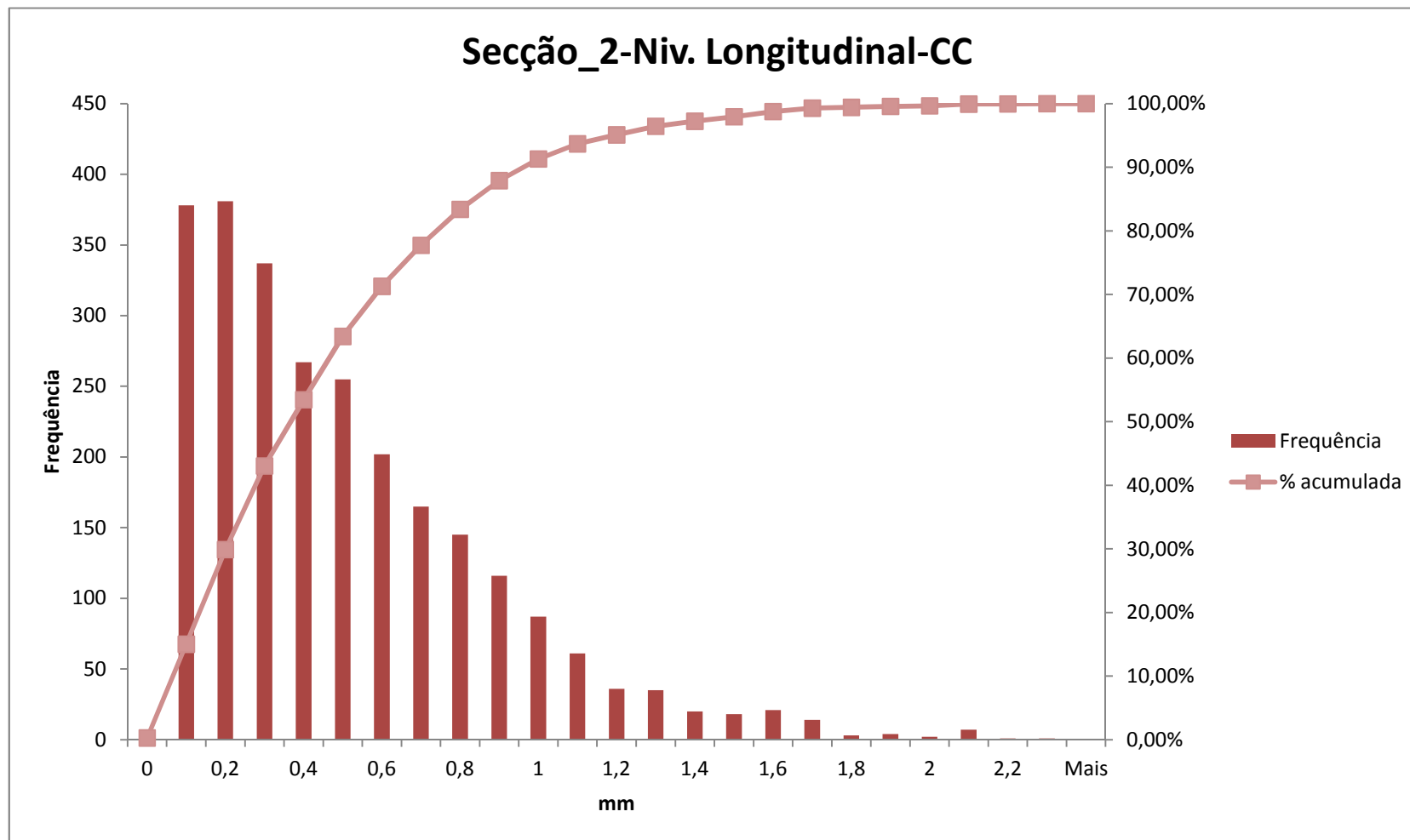
Histograma 29 – Secção tipo 2, parâmetro alinhamento ao longo da curva circular



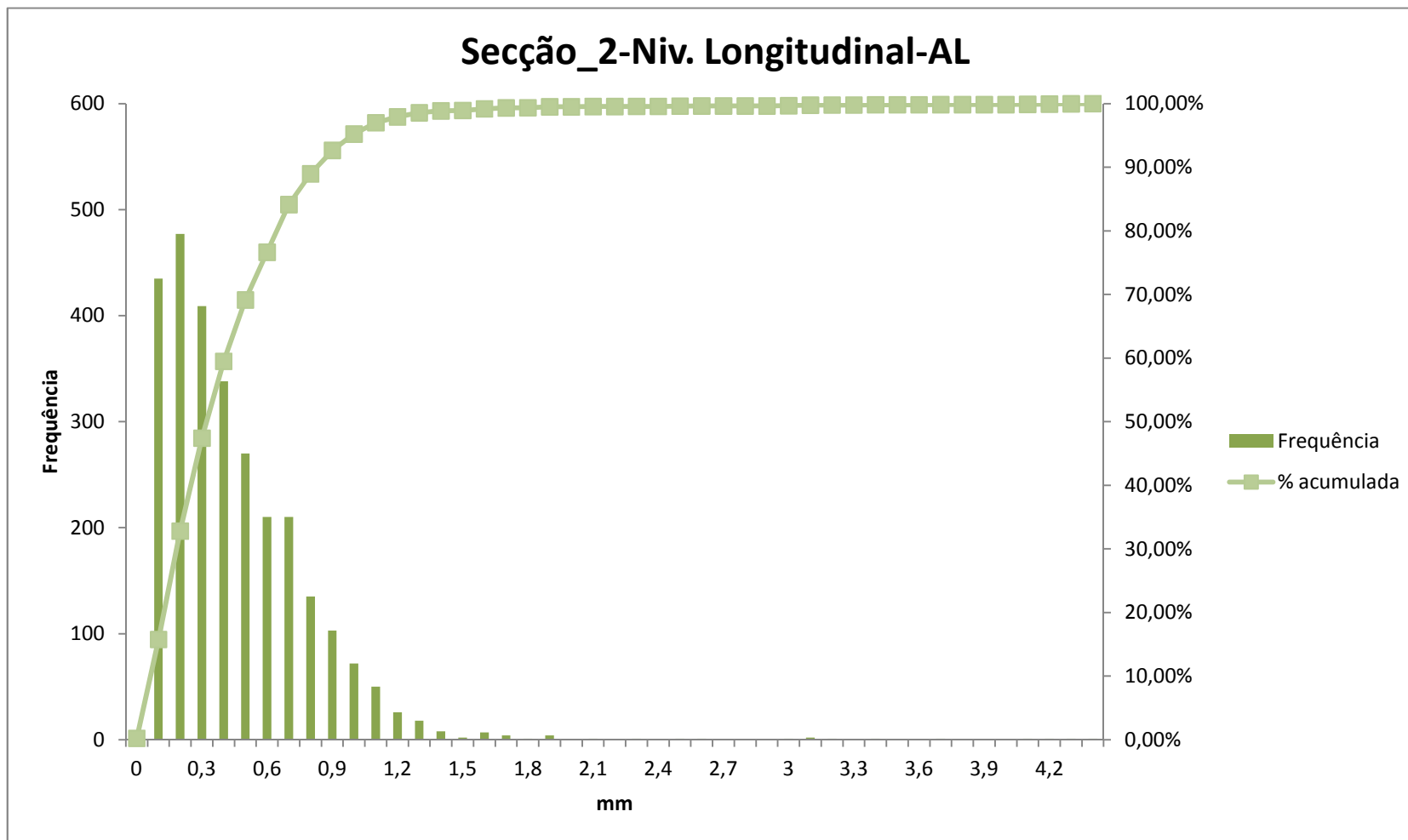
Histograma 30 – Secção tipo 2, parâmetro alinhamento ao longo do alinhamento recto



Histograma 31 – Secção tipo 2, parâmetro nivelamento longitudinal ao longo da curva de transição



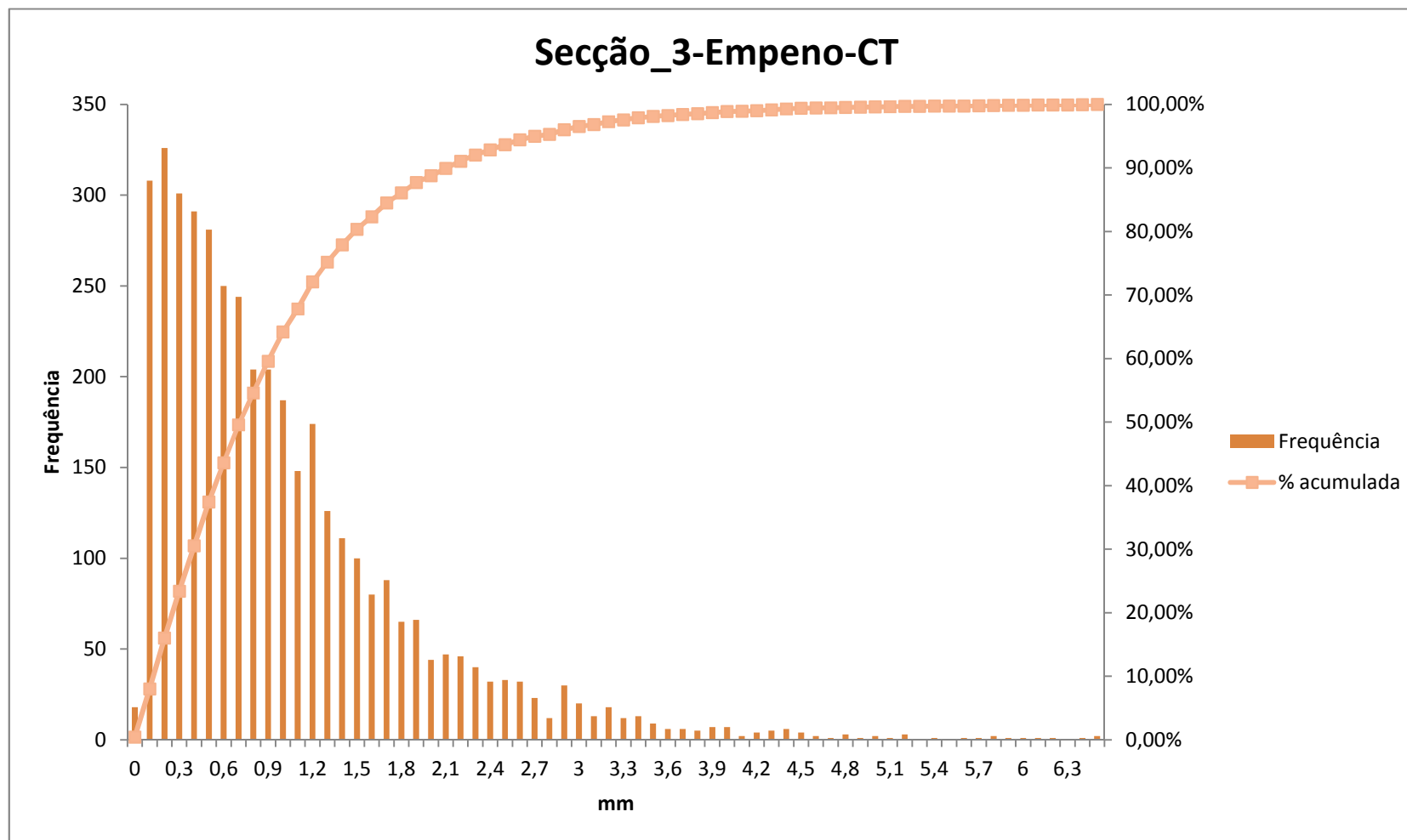
Histograma 32 – Secção tipo 2, parâmetro nivelamento longitudinal ao longo da curva circular



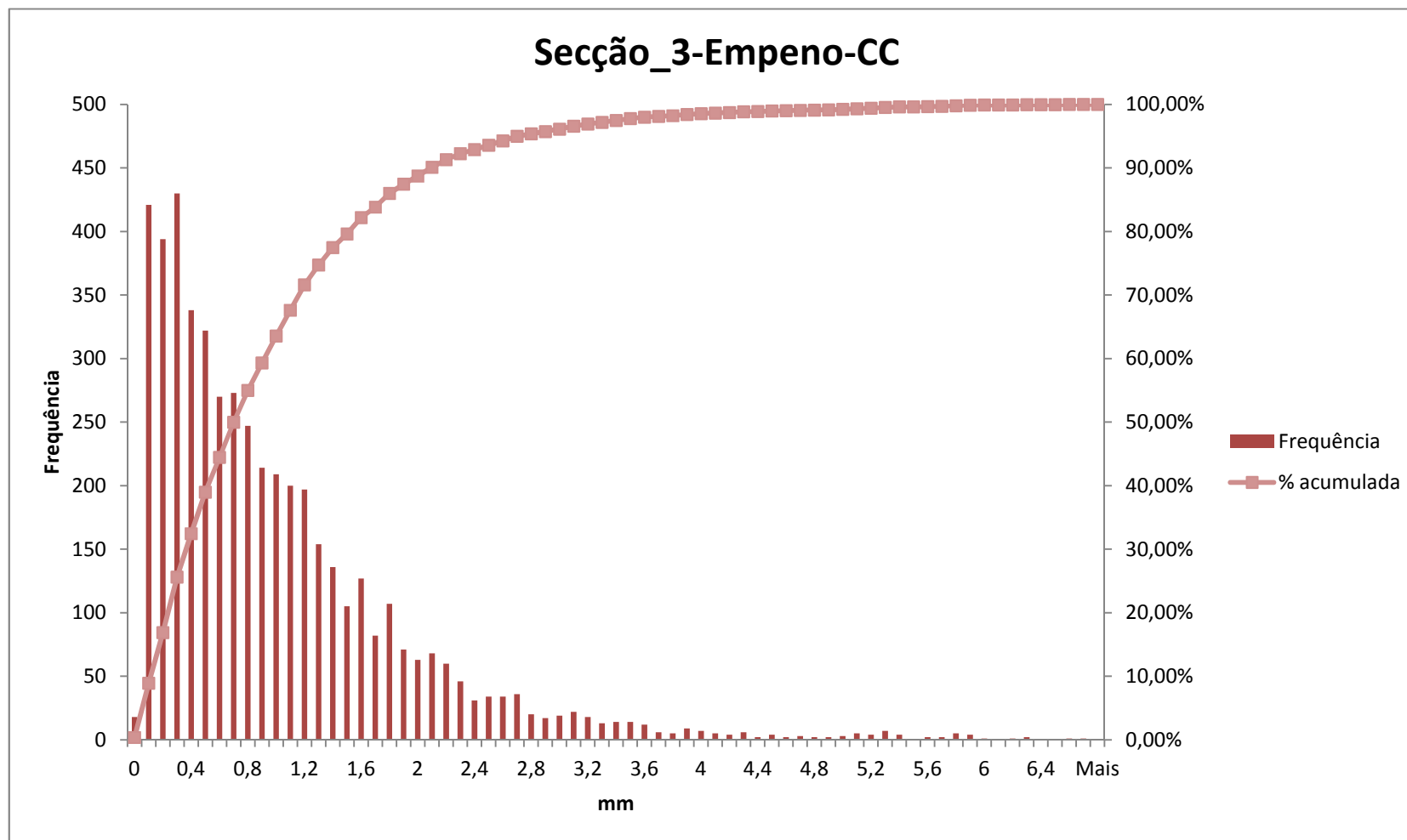
Histograma 33 – Secção tipo 2, parâmetro nivelamento longitudinal ao longo do alinhamento recto

Anexo H

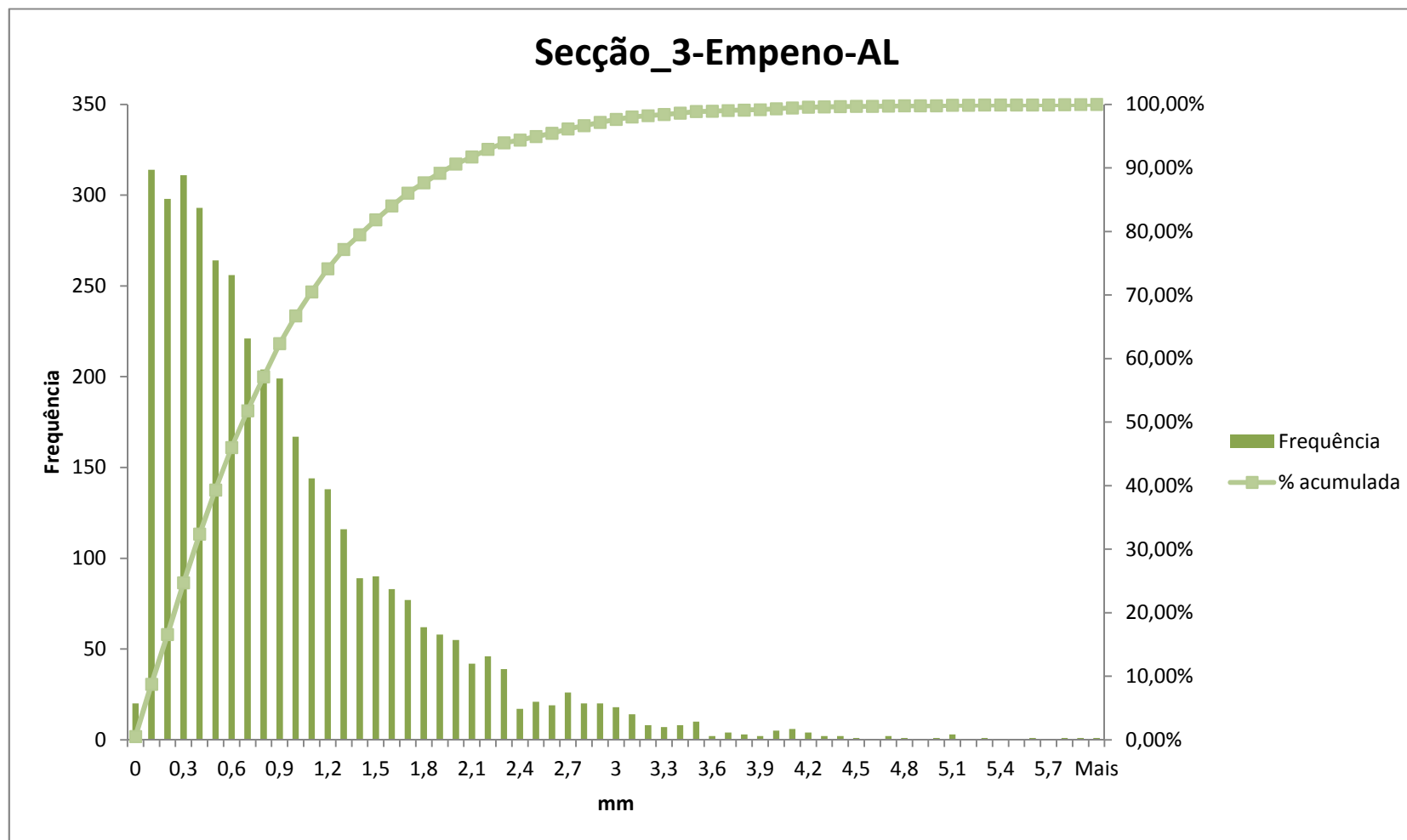
(Histogramas referentes à secção tipo 3)



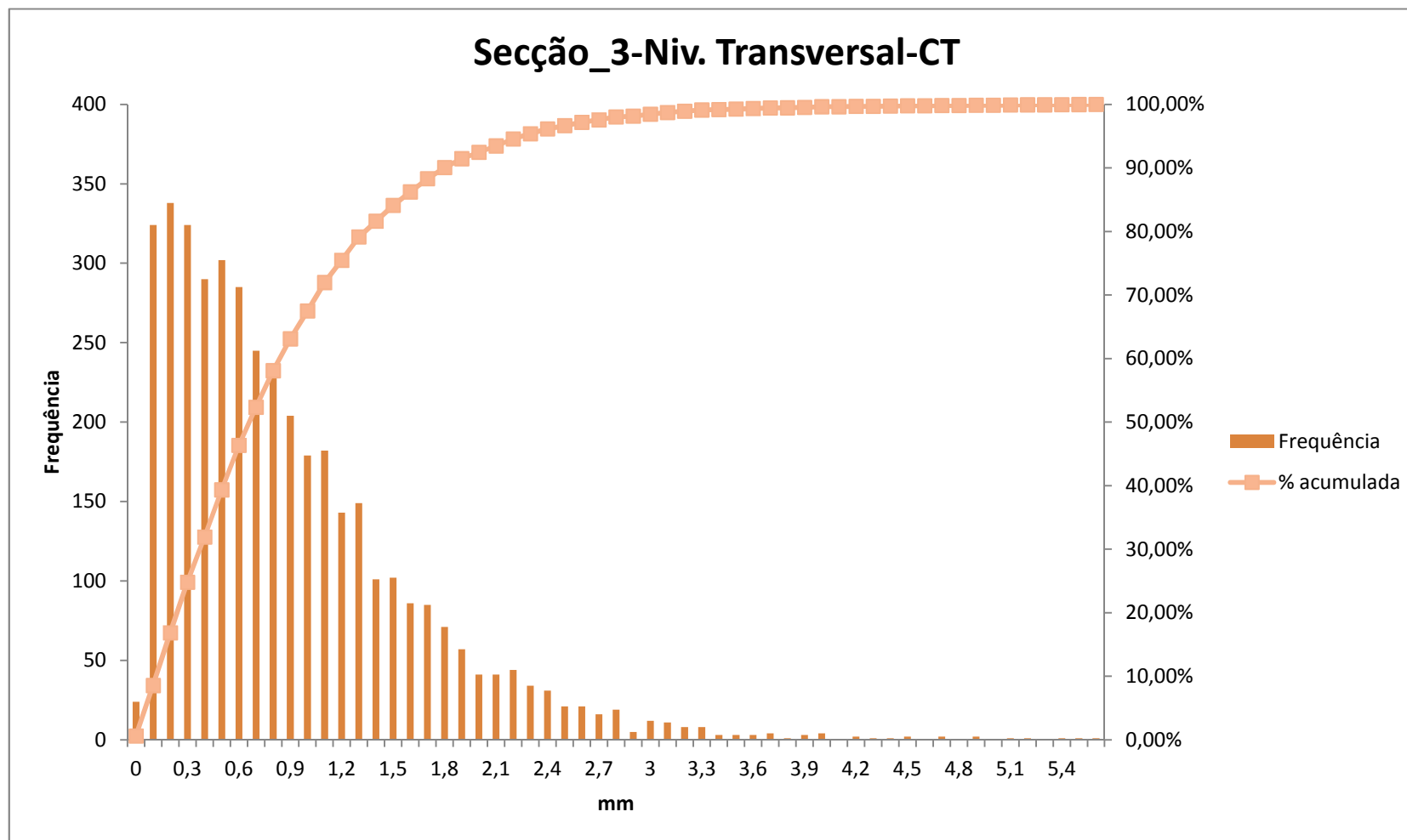
Histograma 34 – Secção tipo 3, parâmetro empeno ao longo da curva de transição



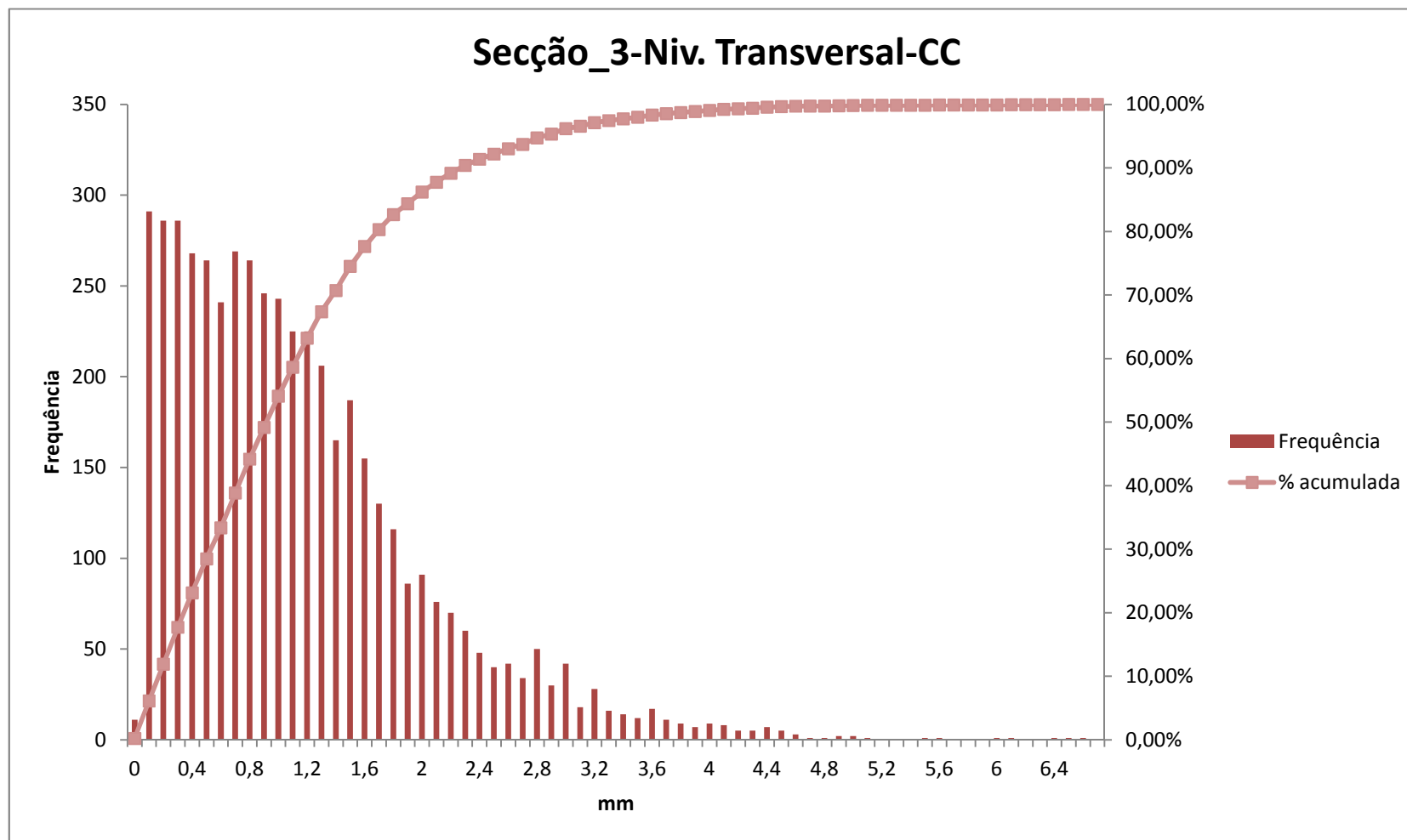
Histograma 35 – Secção tipo 3, parâmetro empeno ao longo da curva circular



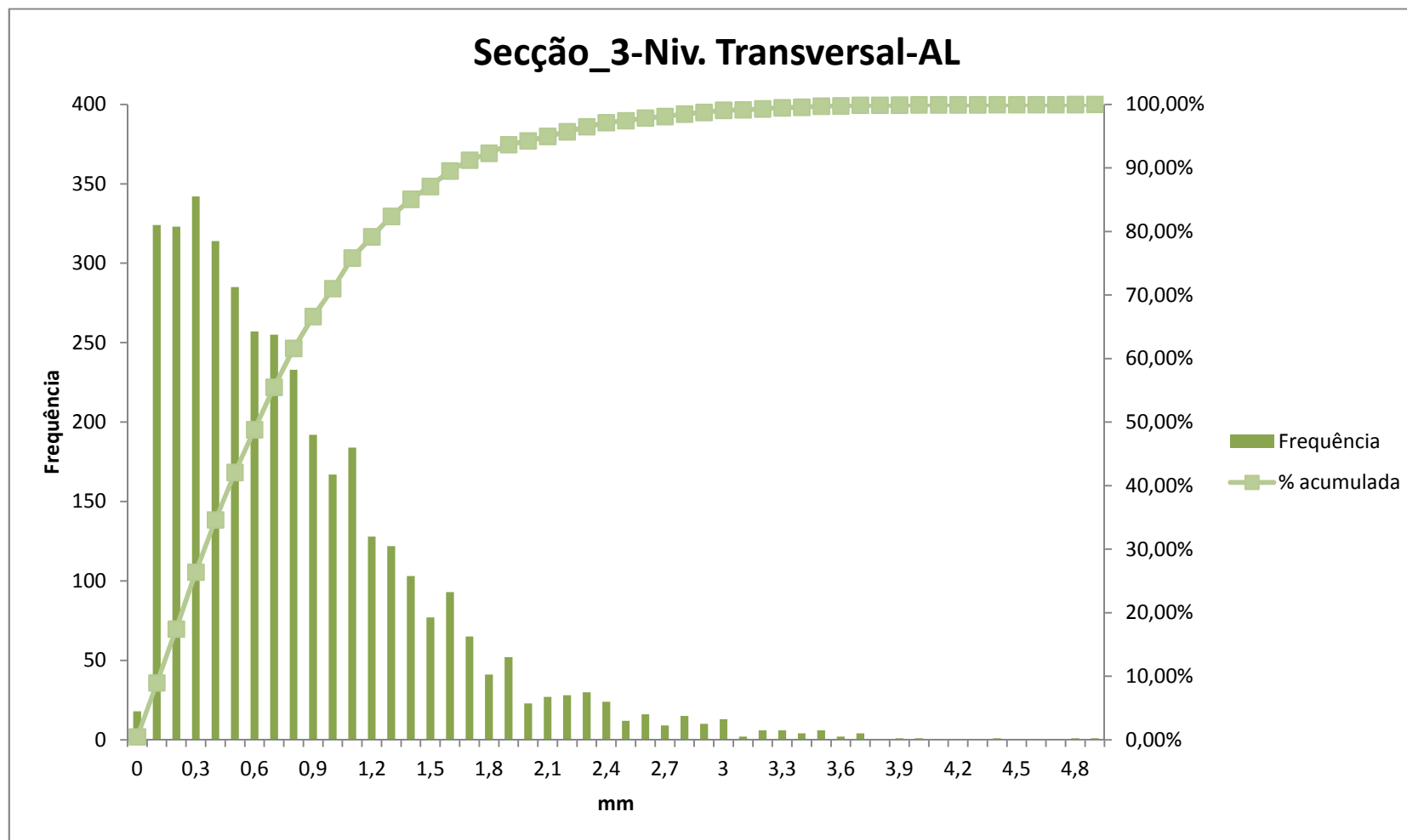
Histograma 36 – Secção tipo 3, parâmetro empeno ao longo do alinhamento recto



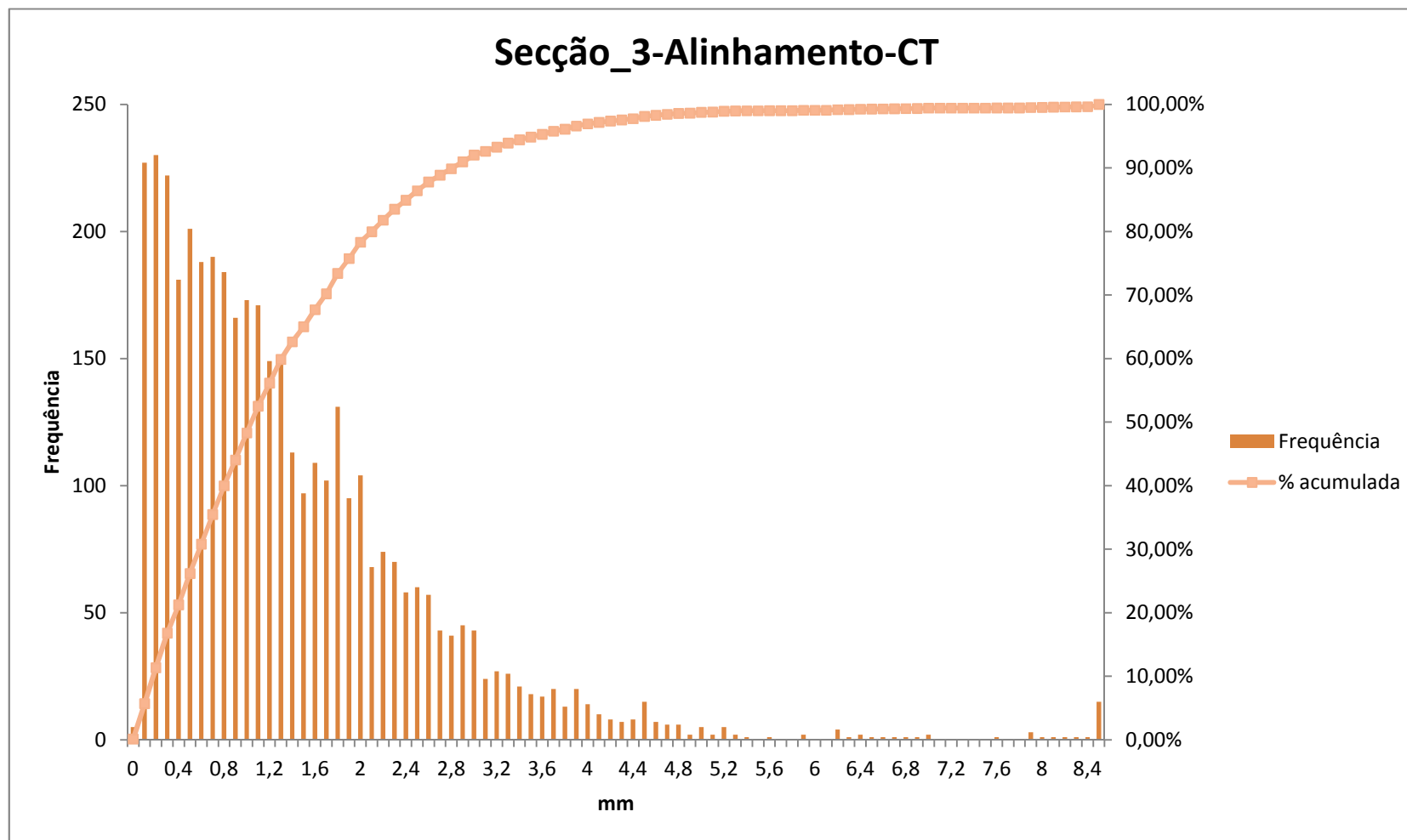
Histograma 37 – Secção tipo 3, parâmetro nivelamento transversal ao longo da curva de transição



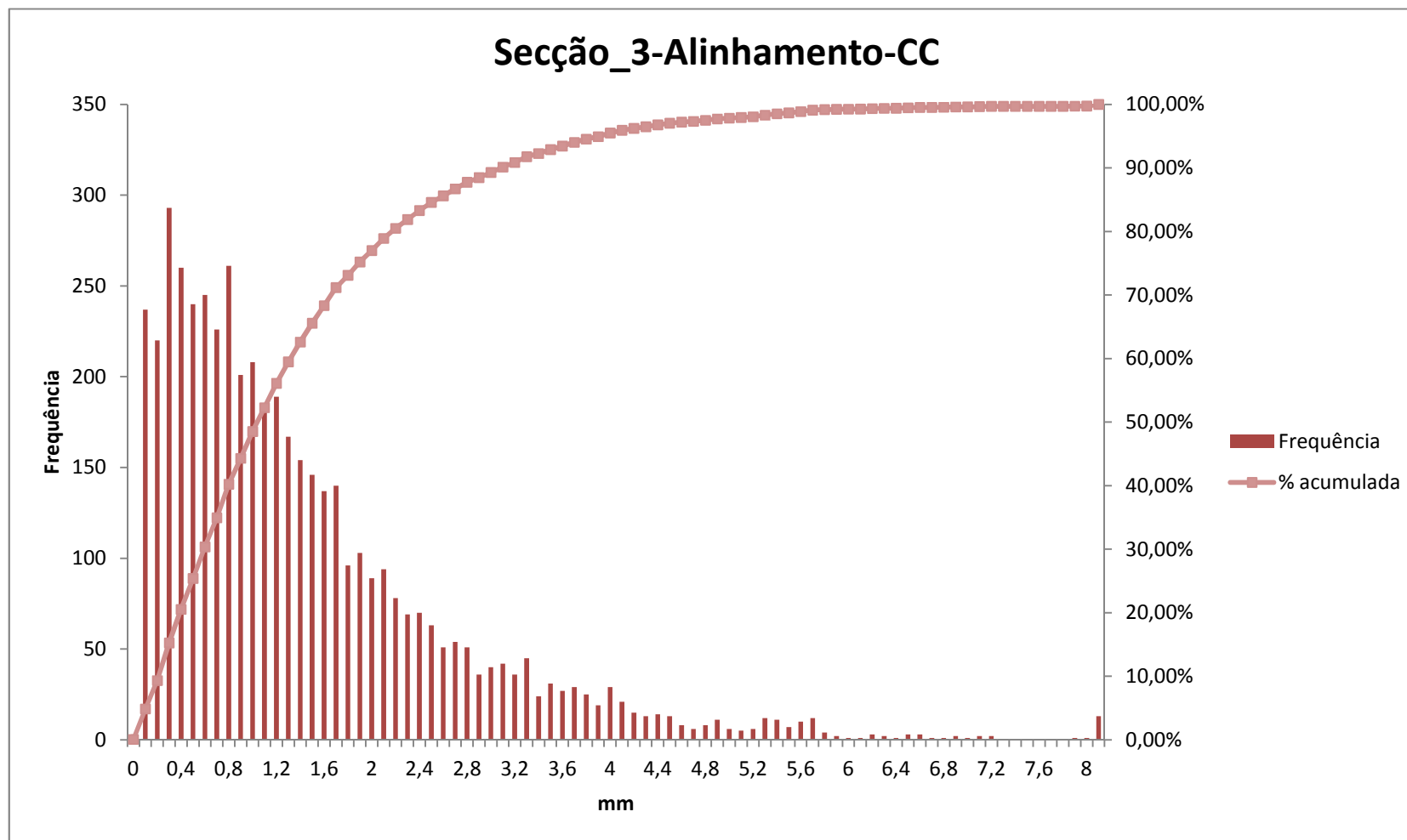
Histograma 38 – Secção tipo 3, parâmetro nivelamento transversal ao longo da curva circular



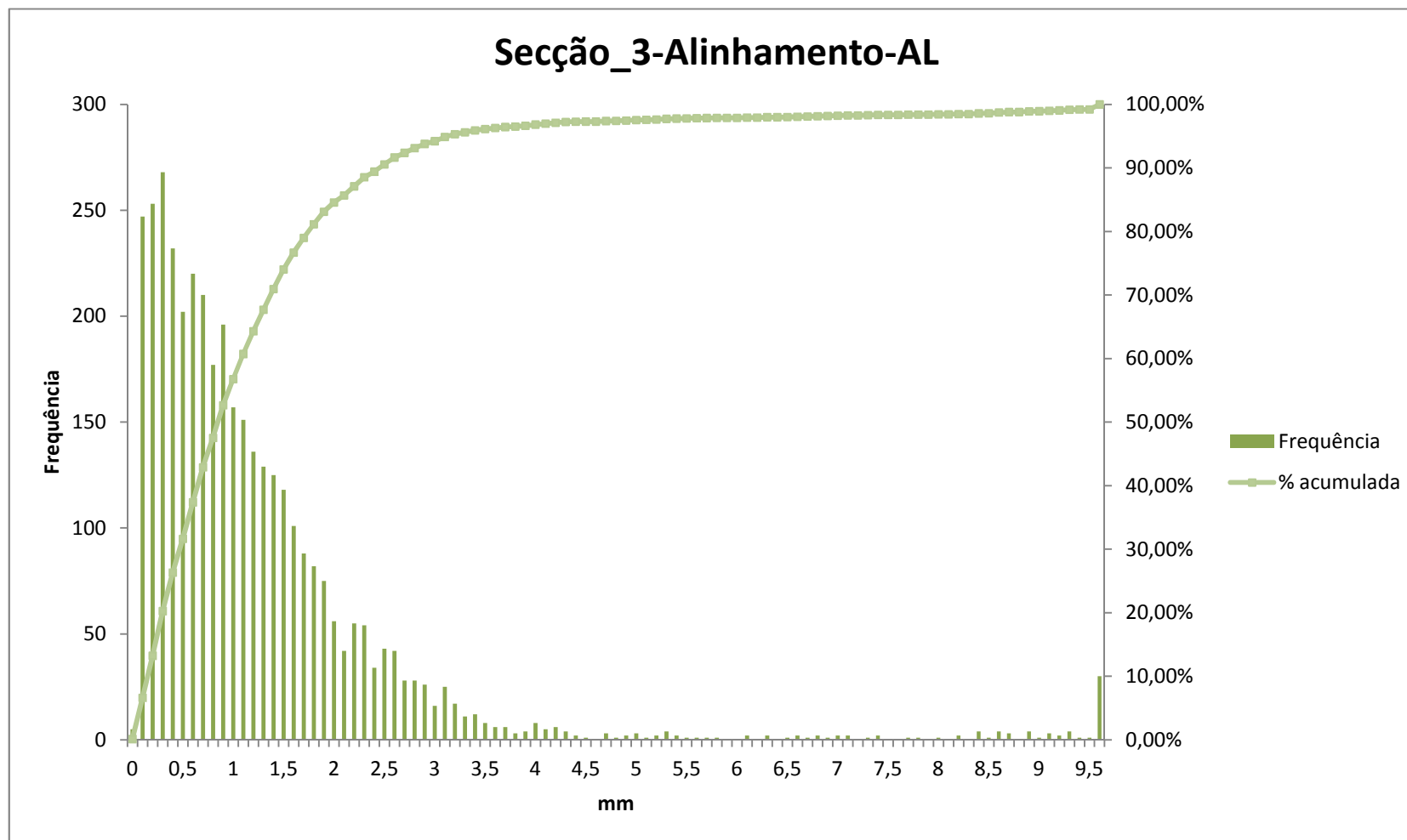
Histograma 39 – Secção tipo 3, parâmetro nivelamento transversal ao longo do alinhamento recto



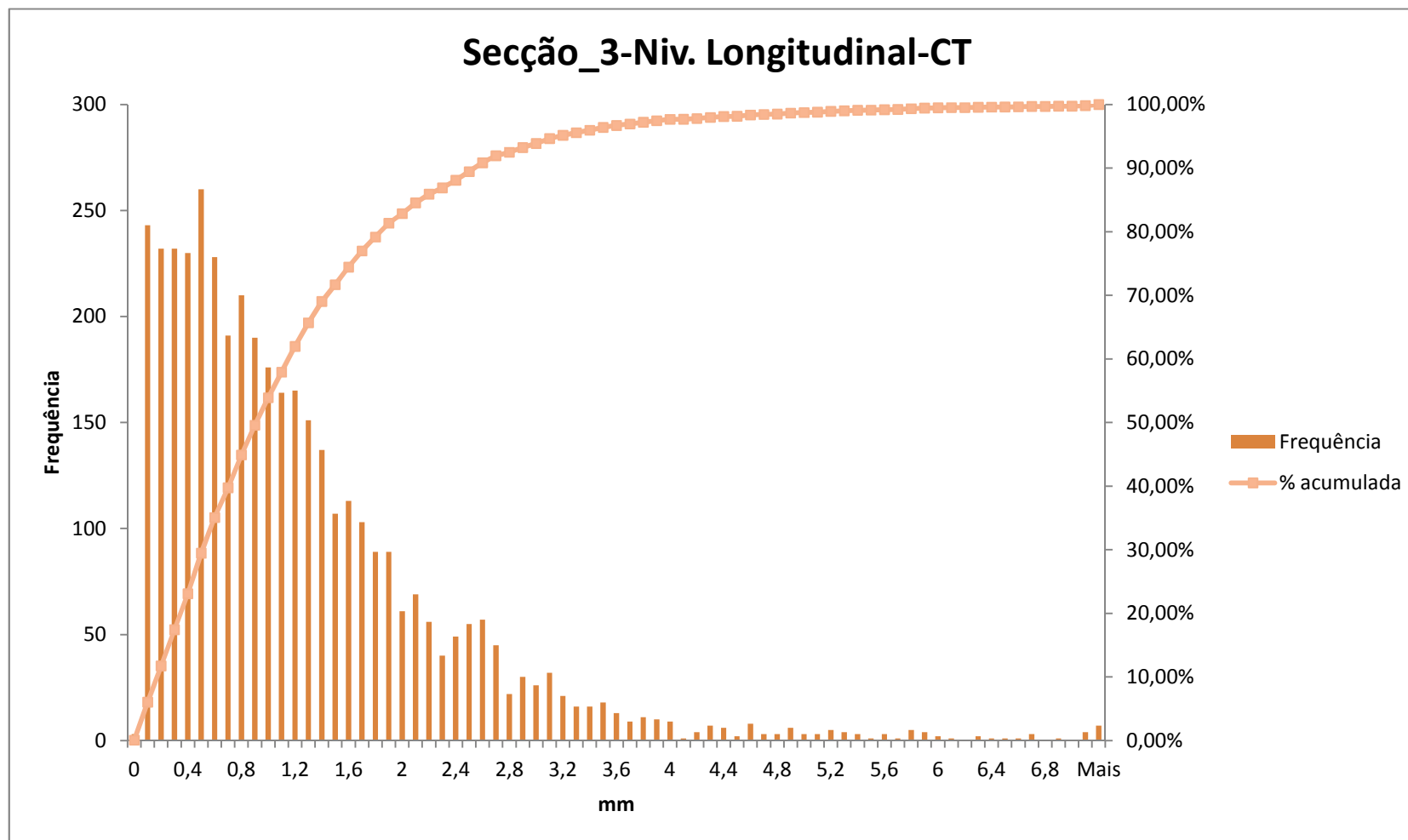
Histograma 40 – Secção tipo 3, parâmetro alinhamento ao longo da curva de transição



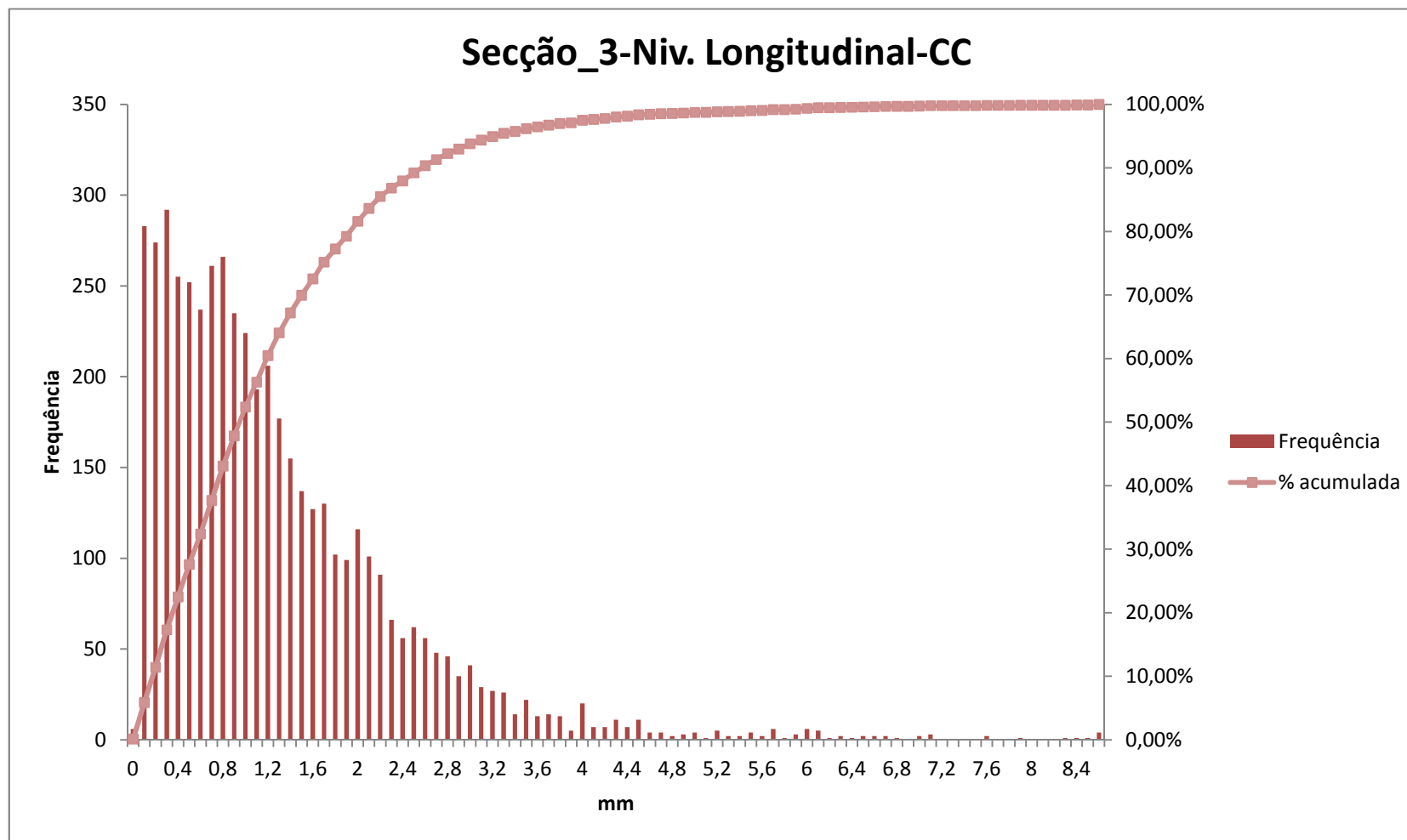
Histograma 41 – Secção tipo 3, parâmetro alinhamento ao longo da curva circular



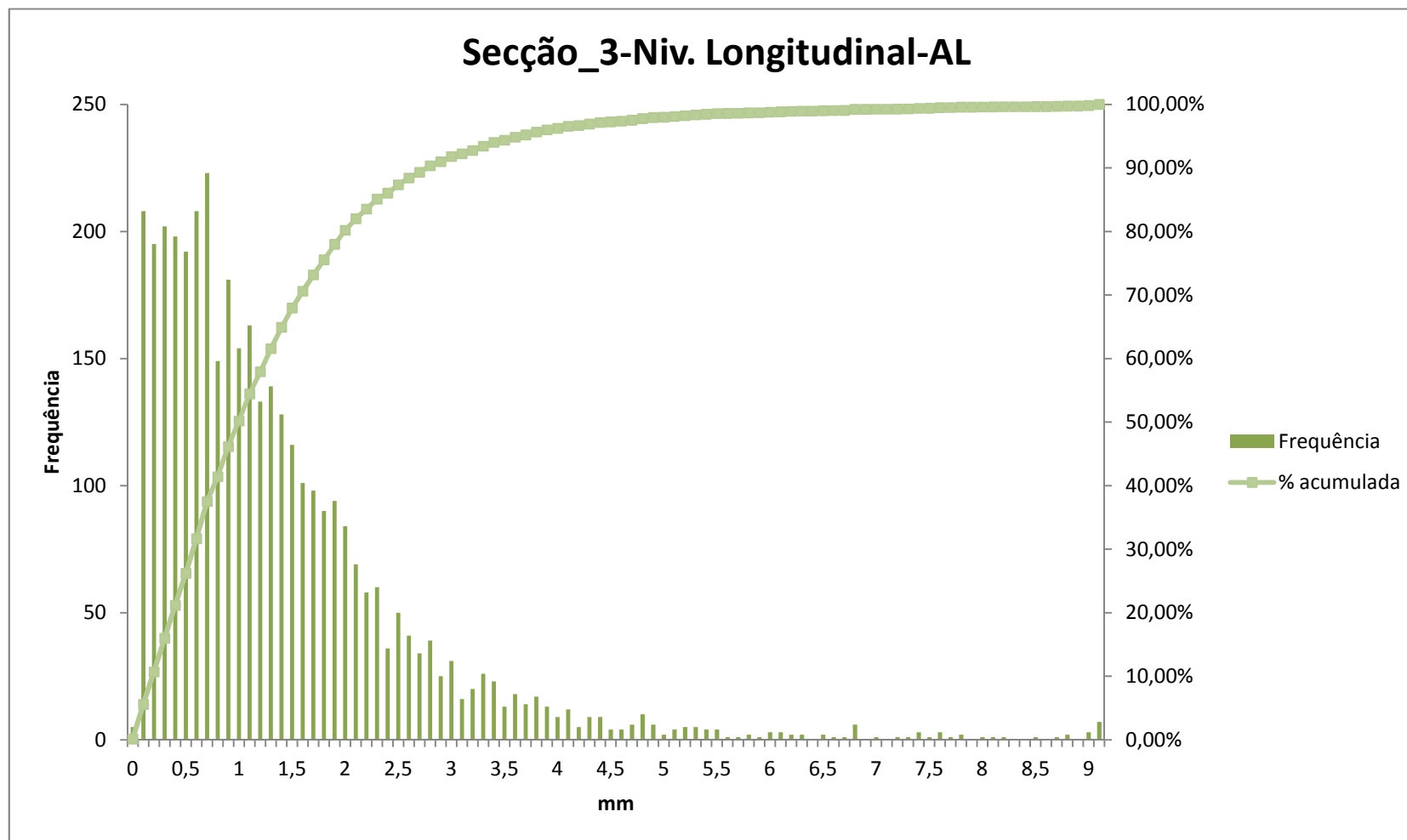
Histograma 42 – Secção tipo 3, parâmetro alinhamento ao longo do alinhamento recto



Histograma 43 – Secção tipo 3, parâmetro nivelamento longitudinal ao longo da curva de transição



Histograma 44 – Secção tipo 3, parâmetro nivelamento longitudinal ao longo da curva circular



Histograma 45 – Secção tipo 3, parâmetro nivelamento longitudinal ao longo do alinhamento recto

