



**Inovação tecnológica no apoio à Construção /  
Modernização de Linhas Ferroviárias  
Troço Vale de Figueira / Entroncamento  
na Linha do Norte**

**DUMITRU PANTA**  
(Licenciado em Engenharia Civil)

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

**Orientadores:**

Licenciado, Especialista, Armando do Carmo Martins  
Licenciado, Alfredo Cruz Nora  
Licenciado, Nuno Silva Gonçalves

**Júri:**

Presidente:

Doutorado, Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva

Vogais:

Licenciada, Especialista, Luísa Ferreira Cardoso Teles Fortes  
Licenciado, Especialista, Armando do Carmo Martins



**Inovação tecnológica no apoio à Construção /  
Modernização de Linhas Ferroviárias  
Troço Vale de Figueira / Entroncamento  
na Linha do Norte**

**DUMITRU PANTA**  
(Licenciado em Engenharia Civil)

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

**Orientadores:**

Licenciado, Especialista, Armando do Carmo Martins (ISEL-DEC)  
Licenciado, Alfredo Cruz Nora (Sacyr-Somague)  
Licenciado, Nuno Silva Gonçalves (Sacyr-Neopul)

**Júri:**

Presidente:

Doutorado, Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva (ISEL-DEC)

Vogais:

Licenciada, Especialista, Luísa Ferreira Cardoso Teles Fortes (ISEL-DEC)  
Licenciado, Especialista, Armando do Carmo Martins (ISEL-DEC)

setembro 2024



## Declaração de integridade

Declaro que este relatório de estágio é o resultado da minha autoria pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes listadas nas referências bibliográficas foram consultadas e estão devidamente mencionadas no texto. Mais declaro que todas as referências científicas e técnicas relevantes para o desenvolvimento do trabalho estão devidamente citadas e constam das referências bibliográficas.

O autor



---

Lisboa, 10 de dezembro de 2024



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Eng.º Armando Martins por todo o apoio e orientação prestada na elaboração deste documento e por toda a disponibilidade e empenho demonstrado.

Ao Eng.º Alfredo Cruz Nora e ao Eng.º Nuno Gonçalves por todo o apoio e orientação prestada na realização do estágio profissional.

Ao meu irmão Nicolae Panta e ao Dr. Carlos Jacinto, por terem definido o rumo da minha vida há 20 anos, que resultou na motivação e possibilidade de seguir Engenharia Civil.

Ao João Nunes Costa, pelo apoio e amizade proporcionados até o presente no meu percurso profissional e académico nos últimos 20 anos.

Aos meus pais.

Aos meus filhos e à minha sempre presente esposa.

Aos meus colegas e amigos do ISEL António Caeiro e Luís Leandro pelo apoio, ajuda e motivação proporcionada na realização deste trabalho.

Aos meus professores do ISEL.



## RESUMO

O presente documento corresponde ao Relatório de Estágio associado ao Trabalho Final de Mestrado (TFM) em Engenharia Civil, realizado na empresa SACYR, SA., resultante do acompanhamento e intervenção prática em trabalhos de construção civil, concretamente na empreitada de modernização da Linha do Norte entre Vale de Figueira e o Entroncamento.

No âmbito do estágio, para além da aprendizagem das metodologias inerentes aos trabalhos desta área específica das Vias de Comunicação, constituiu objetivo a abordagem e análise de técnicas inovadoras para o apoio não só à construção propriamente dita, mas igualmente às fases que a antecedem, nomeadamente na análise do projeto que conduziu à empreitada, bem como às que lhe sucedem, concretamente no que respeita às denominadas Telas Finais e ainda à monitorização da infraestrutura ao longo da sua vida útil.

No domínio das metodologias inovadoras, integradas nas chamadas novas tecnologias, estão contempladas as que decorrem da utilização de UAV – Veículo Aéreo não Tripulado, LiDAR (Light Detection and Ranging, em português Deteção e medição da Luz) e Soluções 3D de acompanhamento de máquinas pesadas, tais como as atacadeiras de via.

No caso particular da empreitada de suporte ao presente relatório, foi possível a utilização de algumas destas novas tecnologias associadas às seguintes atividades: registo orto fotométrico do estado inicial da zona a intervir, levantamento de acompanhamento da obra, inspeção de locais de acesso difícil ou condicionado, fiscalização do trabalho realizado pelos subempreiteiros, avaliação da evolução do estado dos trabalhos.

Com a utilização destas novas ferramentas ficou demonstrada a existência de ganhos muito significativos, traduzidos em menores custos, redução de tempos de execução, maior fiabilidade e rigor na execução, sendo ainda de realçar melhorias no âmbito da segurança na realização e controlo de execução de trabalhos.

Tendo em conta todos os aspetos positivos registados, considera-se que em situações futuras estas metodologias deverão ser implementadas e objeto de otimização, sendo para tal igualmente necessário, entre outros aspetos formar e incentivar as equipas para a utilização das novas tecnologias, bem como encorajar uma cultura na empresa, direcionada para a inovação.

**Palavras-chave:** Ferrovia, Eficiência, Otimização, Tecnologias inovadoras



## **ABSTRACT**

The present document corresponds to the Internship Report associated with the Master's Final Project (TFM) in Civil Engineering, carried out at the company SACYR, SA., resulting from the monitoring and practical intervention in construction work, specifically in the modernization project of the Northern Line between Vale de Figueira and Entroncamento.

Within the scope of the internship, besides learning the methodologies inherent to this specific field of Communication Routes, the objective was also to approach and analyze innovative techniques not only for supporting the actual construction work but also for the phases preceding it, particularly in terms of the project analysis that led to the contract, as well as the subsequent phases, specifically regarding the so-called Final Drawings, and the monitoring of the infrastructure throughout its useful life.

In relation to innovative methodologies, integrated into the so-called new technologies, the following are included: UAV (Unmanned Aerial Vehicle), LiDAR (Light Detection and Ranging), and 3D solutions for monitoring heavy machinery, particularly track tampers.

In the specific case of the project supporting this report, it was possible to use some of these new technologies in the following activities: Ortho-photometric record of the initial state of the area to be intervened, surveying and monitoring of construction works, inspection of areas with difficult or restricted access, monitoring of subcontractors works, assessment of the progress of construction work.

The use of these new tools demonstrated significant benefits, including lower costs, reduced execution times, greater reliability and precision in execution, and notable improvements in safety during execution and control of the work.

Considering all the positive aspects noted, it is recommended that these methodologies be implemented and optimized in future situations. To achieve this, it is also necessary, among other things, to educate and encourage teams to use new technologies and foster a culture in the company aimed to innovation.

**Keywords:** Railway, Efficiency, Optimization, Innovative technologies



## INDICE GERAL

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação e Enquadramento do Tema .....	1
1.2	Apresentação da Empresa .....	3
1.3	Objetivos .....	4
1.4	Metodologia .....	4
1.5	Estrutura do Documento .....	5
<b>2</b>	<b>NOVAS TECNOLOGIAS PARA APOIO À CONSTRUÇÃO / MODERNIZAÇÃO NA FERROVIA .....</b>	<b>7</b>
2.1	Veículos Aéreos não Tripulados (UAV) .....	7
2.1.1	Legislação para a utilização de Drones .....	9
2.1.2	Deteção remota com recurso a Drones .....	11
2.1.2.1	Definição e conceitos de deteção remota .....	12
2.1.2.2	A radiação eletromagnética .....	14
2.1.2.3	Interações da radiação eletromagnética com a atmosfera .....	18
2.1.2.4	Interação da radiação eletromagnética com a superfície terrestre .....	20
2.1.2.5	A resposta espectral .....	21
2.1.3	Sensores utilizados em Drones .....	23
2.1.4	Integração com sistemas de informação geográfica .....	26
2.1.5	Aplicação dos Drones na Engenharia Civil .....	29
2.1.6	Procedimentos de trabalho com Drones .....	32
2.1.6.1	Verificações pré-voo .....	33
2.1.6.2	Planificação da missão do tipo 2D fotogramétrica .....	35
2.1.7	Processamento digital de imagens obtidas com Drones .....	36
2.1.8	Outras aplicações dos Drones .....	41
2.2	“Laser Scanning” LiDAR .....	42
2.2.1	Descrição da tecnologia LiDAR (Light Detection And Ranging) .....	43
2.2.1.1	Tempo de trajeto e fase .....	44
2.2.1.2	Triangulação .....	46
2.2.2	Metodologia de captação de nuvens de pontos estática .....	47
2.2.3	Metodologia de captação de nuvens de pontos dinâmico (terrestre e aéreo) .....	49
2.2.3.1	Tecnologia LiDAR Dinâmica terrestre .....	51
2.2.3.2	Tecnologia LiDAR Dinâmica aérea .....	54
2.2.4	Como escolher o equipamento adequado .....	56
2.2.5	Razões para considerar a tecnologia “laser scanning” no apoio à Ferrovia .....	58
2.3	Soluções 3D para acompanhamento e controle de Máquinas Pesadas de Via .....	58
2.3.1	Controlo de máquinas na construção da infraestrutura ferroviária .....	59
2.3.1.1	Controlo de máquinas 1D e 2D .....	60
2.3.1.2	Controlo de máquinas 3D .....	60

2.3.2	Acompanhamento e controle 3D de máquinas pesadas na construção / manutenção da superestrutura ferroviária .....	62
2.3.2.1	Sistema de alinhamento relativo a 3 pontos .....	66
2.3.2.2	Sistema de alinhamento relativo a 4 pontos .....	67
2.3.2.3	Sistema de nivelamento e elevação .....	67
2.3.2.4	Sistemas de acompanhamento 3D de atacadeiras .....	68
2.4	Conclusões .....	72
<b>3</b>	<b>O PROJETO .....</b>	<b>73</b>
3.1	Âmbito da Intervenção e Objetivos .....	73
3.2	Organização do Projeto .....	74
3.3	Principais intervenções previstas .....	74
3.3.1	Superestrutura de Via e Catenária .....	74
3.3.2	Requalificação da Estação de Mato de Miranda .....	76
3.3.3	Terminal das Areias na Linha IV na estação de Riachos .....	77
3.3.4	Acessibilidades .....	77
3.3.5	Passagens Hidráulicas (PH) .....	78
3.4	Condições de exploração .....	79
3.5	Faseamento Construtivo .....	81
<b>4</b>	<b>A EMPREITADA .....</b>	<b>83</b>
4.1	Faseamento construtivo proposto em concurso e adotado em obra .....	83
4.2	Processo de erros e omissões, reorçamentação da obra .....	86
4.2.1	Erros e Omissões .....	86
4.2.2	Reorçamentação da obra .....	88
4.3	Principais intervenções na empreitada (Via-férrea, catenária e tratamento da plataforma) .....	90
4.3.1	Trabalhos de via .....	92
4.3.2	Trabalhos de catenária .....	99
4.3.3	Terraplenagem .....	99
4.4	Otimização dos recursos .....	100
4.5	Contributo das novas tecnologias na empreitada .....	101
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....</b>	<b>107</b>

Anexos:

Anexo I – Organização do Projeto

Anexo II – Relatório de Aquisição de dados

Anexo III – Relatório de Qualidade

Anexo IV – Compatibilização de drenagem

Anexo V – Acompanhamento 3D de atacadeiras

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 – Modelo do Negócio da Sacyr.....	4
Figura 2-1 – Cronologia das designações utilizadas para as Aeronaves não tripuladas e remotamente pilotadas.....	8
Figura 2-2 – Drone de asa rotativa.....	9
Figura 2-3 – Drone de asa fixa.....	9
Figura 2-4 – Desastre aéreo ocorrido no acidente nuclear de Chernobyl – União Soviética 1986.....	12
Figura 2-5 – Onda eletromagnética [10].....	14
Figura 2-6 – O espectro eletromagnético.....	15
Figura 2-7 – Curvas espectrais da energia irradiada por corpo negro a diferentes temperaturas.....	17
Figura 2-8 – Dispersão da radiação eletromagnética.....	18
Figura 2-9 – Dispersão de Rayleigh da radiação eletromagnética.....	19
Figura 2-10 – Dispersão de Mie da radiação eletromagnética.....	19
Figura 2-11 – Absorção da radiação eletromagnética.....	20
Figura 2-12 – Interação com a superfície terrestre.....	20
Figura 2-13 – Tipos de reflexão (a) Especular e (b) Difusa.....	21
Figura 2-14 – Curvas de refletância espectral.....	22
Figura 2-15 – Radar de Abertura Sintética.....	24
Figura 2-16 – Tecnologia de sensores usada em Drones modernos.....	25
Figura 2-17 – Taxa de dose equivalente de cézio (CED) da área de Buryakivka.....	26
Figura 2-18 – Representação gráfica do Geoide.....	28
Figura 2-19 – As três superfícies fundamentais.....	28
Figura 2-20 – Fases de execução dos trabalhos.....	30
Figura 2-21 – Drone e estação GNSS de referência móvel RTK 2.....	32
Figura 2-22 – Exemplo de ponto de controle terrestre.....	34
Figura 2-23 – Exemplo de uma incorreta distribuição (a) e correta (b) distribuição de PCT.....	35
Figura 2-24 – Características básicas da imagem digital mono-banda.....	37
Figura 2-25 – Características básicas da imagem digital multibanda.....	38
Figura 2-26 – Associação de coordenadas do Ponto de Controle Terrestre visível na imagem.....	39
Figura 2-27 – Exemplo de orto-foto, com resolução do píxel de 0,019m.....	39
Figura 2-28 – Exemplo de modelo 3D.....	39
Figura 2-29 – Exemplo de comparação modelos 3D da obra com a realidade virtual.....	40
Figura 2-30 – Exemplo de comparação modelos 3D da obra com a realidade virtual.....	41
Figura 2-31 – Áreas de aplicação do sistema LiDAR.....	42
Figura 2-32 – Sistema LiDAR - Integração num helicóptero tripulado.....	42
Figura 2-33 – Leica ScanStation P50 - Scanner a laser terrestre 3D de longo alcance.....	43
Figura 2-34 – Leica Pegasus One.....	43
Figura 2-35 – Medições efetuadas por equipamento laser.....	45

Figura 2-36 – Triangulação passiva .....	46
Figura 2-37 – Princípio do scanner de triangulação ativa .....	47
Figura 2-38 – Unidade LiDAR terrestre Pegasus TRK .....	52
Figura 2-39 – Sistema Laser móvel RIEGL VUX e integração no sistema VP1 .....	54
Figura 2-40 – Sistema de controle 2D de modelo “Leica iCON Grade” .....	60
Figura 2-41 – Tecnologia de controle 3D de modelo “SP. iGD3 - iGD4SP Leica iCONE” .....	60
Figura 2-42 – Sistema 3D de modelo “iCON Grade” para motoniveladoras .....	61
Figura 2-43 – Sistema 3D de controle de escavadoras de modelo “iCON excavate iCP41” .....	61
Figura 2-44 – Atacadeira / Pioches de consolidação de balastro (a) e pinças de ripagem de via (b)..	63
Figura 2-45 – Sistema de medição da atacadeiras.....	64
Figura 2-46 – Carros de medição da atacadeiras .....	64
Figura 2-47 – Sistema de medição ótico .....	65
Figura 2-48 – Sistema de alinhamento relativo a 3 pontos em alinhamento reto [26].....	66
Figura 2-49 – Sistema de alinhamento relativo a 3 pontos em curva .....	67
Figura 2-50 – Sistema de alinhamento relativo a 4 pontos.....	67
Figura 2-51 – Esquema do sistema de nivelamento e elevação da linha.....	68
Figura 2-52 – Sistema AMBERG FX GRP 5000 com Laser Scanner .....	69
Figura 2-53 – Sistema Amberg FX VMS1000 .....	70
Figura 2-54 – Sistema Amberg FX IMS 1000 .....	70
Figura 3-1 – Locais da Intervenção entre Vale de Figueira e o Entroncamento.....	73
Figura 3-2 – Intervenção na Estação de Vale de Figueira .....	74
Figura 3-3 – Linhas de Resguardo em Mato de Miranda.....	75
Figura 3-4 – Riachos - Linha Mãe de Ramais.....	75
Figura 3-5 – Estação de Mato de Miranda – Plataformas de passageiros, PSP e arranjos exteriores	76
Figura 3-6 – Corte Longitudinal Passagem Superior Rodoviária .....	76
Figura 3-7 – Corte transversal Passagem Inferior Agrícola .....	77
Figura 3-8 – Muro existente a requalificar e ampliar no terminal de areias de Riachos .....	77
Figura 3-9 – PH a prolongar na proximidade do PK 103+700 .....	78
Figura 3-10 – Contenção provisória para a execução das PH e de blocos técnicos (Pk 103+700).....	78
Figura 4-1 – Atacadeira pesada de via .....	95
Figura 4-2 – Processo de soldadura aluminotérmica.....	96
Figura 4-3 – Estabilizadora dinâmica .....	98
Figura 4-4 – Regulação de pórticos .....	99
Figura 4-5 – Orto foto de alta resolução.....	102
Figura 4-6 – Corte tipo de passagens hidráulicas em linhas gerais sem bloco técnico .....	102
Figura 4-7 – Modelo digital de frente de trabalho .....	103
Figura 4-8- Inspeção do local de substituição do AMV 50 na Linha Mãe dos Ramais.....	103
Figura 4-9 – Inspeção de colocação em obra de AMV .....	104

Figura 4-10 – Verificação do volume do depósito de balastro na frente de Mato de Miranda .....	104
Figura 4-11 – Carrinho de via Amberg GRP System FX 3000 .....	105

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1– Configurações do Drone .....	36
Tabela 2-2– Configurações para a câmara fotográfica do Drone .....	36
Tabela 2-3 – Mapa de recursos humanos para realização do LiDAR Aéreo .....	57
Tabela 2-4 – Mapa de Equipamentos e Software para realização do LiDAR Aéreo .....	57
Tabela 2-5 – Ganhos obtidos com a utilização de sistema de controle de máquinas .....	62
Tabela 2-6 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos da via para linhas de bitola 1668 mm e 1435mm em linhas novas ou renovadas .....	70
Tabela 2-7 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos da via para linhas de bitola 1668 mm e 1435mm em trabalhos de manutenção .....	71
Tabela 2-8 – Erros teóricos devido a precisão angular da Estação Total .....	71
Tabela 2-9 – Erros teóricos devido a precisão do EDM .....	71
Tabela 3-1 – Organização do Projeto .....	74
Tabela 3-2 – IET 77 – Medidas de Segurança .....	79
Tabela 4-1 – Datas de entrega dos AMV .....	85
Tabela 4-2 – Resultado do processo de Erros e Omissões na empreitada .....	87
Tabela 4-3 – Recursos para o levantamento de via-férrea .....	92
Tabela 4-4 – Recursos para o levantamento de AMV .....	92
Tabela 4-5 – Recursos para execução da Camada Sub-balastro .....	93
Tabela 4-6 – Recursos para aplicação de manta geotêxtil .....	93
Tabela 4-7 – Recursos para a aplicação de balastro .....	94
Tabela 4-8 – Recursos para montagem de via-férrea .....	95
Tabela 4-9 – Recursos para o assentamento de AMV .....	95
Tabela 4-10 – Recursos para a execução de soldaduras aluminotérmicas .....	96
Tabela 4-11 – Recursos para a realização da regularização das barras .....	97
Tabela 4-12 – Recursos para a execução do ataque definitivo e estabilização dinâmica .....	98
Tabela 4-13 – Constituição da equipa para piquetagem definitiva .....	98
Tabela 4-14 – Tratamento de fundação na frente de Mato de Miranda .....	99



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>1D</b>	Uma dimensão
<b>2D</b>	Duas dimensões
<b>3D</b>	Três dimensões
<b>ABGE</b>	Agregado Britado de Granulometria Extensa
<b>AMC</b>	Acceptable Means of Compliance (Meios Aceitáveis de Conformidade)
<b>AMCW</b>	Amplitude Modulated Continuous Wave (Onda Contínua Modulada em Amplitude)
<b>AMV</b>	Aparelho de Mudança de Via
<b>ANAC</b>	Agência Nacional da Aviação Civil
<b>CCD</b>	Charge-Coupled Device (Dispositivo de Carga Acoplado)
<b>CCP</b>	Código dos Contratos Públicos
<b>COM</b>	Comunicação de 2 Aparelhos de Mudança de Via
<b>CP</b>	Comboios de Portugal
<b>DMI</b>	Distance Measurement Instrument (Dispositivo de Medição da Distância)
<b>DPF</b>	Domínio Público Ferroviário
<b>DSM</b>	Digital Surface Model (Modelo Digital de Superfície)
<b>DWG</b>	Abreviatura de desenho em inglês “Drawing”
<b>DXF</b>	Drawing Exchange Format
<b>EASA</b>	Agência da União Europeia para a Segurança da Aviação Civil
<b>EDM</b>	Electro-Distanciómetro
<b>EPC</b>	Engineering, Procurement and Construction (Engenharia, Aquisições e Construção)
<b>EU/UE</b>	Europe Union / União Europeia
<b>FCE</b>	Fim da Clotóide de Entrada
<b>Feeder</b>	Linha aérea ou subterrânea de alimentação de energia, eletricamente isolada da catenária e que pode ser a ela ligada através de equipamento elétrico conveniente
<b>GeoTIFF</b>	Formato de imagem raster que integra informações sobre a morfologia do terreno
<b>GM</b>	Guidance Material (Material de Orientação)
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System
<b>GPS</b>	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
<b>GSM</b>	Groupe Special Mobile (Grupo Especial Movel)
<b>HxGN</b>	Hexagon Leica Geosystem
<b>ICP</b>	Iterative Closest Point
<b>IBEX 35</b>	É o principal índice de referência da bolsa espanhola
<b>ICS</b>	Início da clotóide de Saída
<b>IET77</b>	Instrução Técnica de Exploração (Segurança)
<b>IFC</b>	ISSUED for Construction (Emitido para Construção)
<b>IMU</b>	Inertial Measurement Unit (Unidade de Medição Inercial)
<b>IP</b>	Infraestruturas de Portugal
<b>ILR</b>	Indicador Limite de Resguardo
<b>JCL</b>	Junta da Contra-Lança
<b>JPEG</b>	Formato de imagem desenvolvido por “Joint Photographic Experts Group”
<b>JTC</b>	Junta do Talão da Cróssima
<b>Km</b>	Quilómetro da via a partir da origem
<b>LiDAR</b>	Light Detection and Ranging (Deteção e Medição da Luz)

<b>LMR</b>	Linha Mãe dos Ramais
<b>MEMS</b>	Micro-electromechanical system
<b>MS</b>	Medidas de Segurança
<b>NTRIP</b>	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Transporte em Rede do RTCM Via Internet Protocol)
<b>PCT</b>	Ponto de Controle Terrestre
<b>PH</b>	Passagem Hidráulica
<b>Pk</b>	Ponto Quilométrico
<b>PNI</b>	Programa Nacional de Investimentos
<b>Ppm</b>	Partes por mil
<b>PSP</b>	Passagem Superior Pedonal
<b>PSR</b>	Passagem Superior Rodoviária
<b>PTE</b>	Ponto de Tangência de Entrada
<b>PTS</b>	Ponto de Tangência de Saída
<b>QS</b>	Quality Soil (class: 0,1,2,3)
<b>ReNEP</b>	Rede Nacional de Estações Permanentes
<b>RGB</b>	Valor de cor que representa as fontes de Vermelho “RED”, verde “GREEN” e azul “BLUE”
<b>RPAS</b>	Remotely-Piloted Aircraft System (Sistemas de Aeronaves Pilotadas Remotamente)
<b>RTCM</b>	Radio Technology Commission for Maritime Services (Comissão Tecnológica de Radio para Serviços Marítimos)
<b>RTK</b>	Real Time Kinematic (Cinemático em Tempo Real)
<b>SIG</b>	Sistemas de Informação Geográfica
<b>SLA</b>	Seccionador de Lamina de Ar
<b>SLAM</b>	Simultaneous Localization and Mapping (Mapeamento e Localização Simultâneos)
<b>SST</b>	Subestação de Tração
<b>TBBG</b>	Travessas de Betão Bi-bloco
<b>TBMP</b>	Travessas de Betão Monobloco Polivalentes
<b>TME</b>	Travessa de Madeira Especial
<b>ToF</b>	Time of Flight (tempo de trajeto)
<b>UAS</b>	Unmanned Aerial System (Sistema Aéreo não Tripulado)
<b>UAV</b>	Unmanned Aerial Vehicle (Veículo Aéreo não Tripulado)
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>VA</b>	Via Ascendente
<b>VD</b>	Via Descendente
<b>WI-FI</b>	Wireless Fidelity
<b>ZC</b>	Zona Comum
<b>ZN</b>	Zona Neutra

# **1 INTRODUÇÃO**

O presente documento corresponde ao Relatório de Estágio, inerente ao Trabalho Final de Mestrado (TFM) em Engenharia Civil, realizado na empresa Sacyr na Empreitada de Modernização da Linha do Norte entre Vale de Figueira e o Entroncamento entre os meses de abril e setembro de 2024.

A escolha do TFM teve como base o facto, de que um estágio profissional proporciona a possibilidade de aplicar na prática os conceitos adquiridos durante o percurso académico, bem como uma boa introdução na atividade profissional e consequentemente o desenvolvimento de competências para responder as dificuldades e desafios que podem surgir no percurso profissional de um técnico.

Pretende-se através do tema proposto, abordar a aplicação de novas tecnologias na realização de projetos e na construção de ferrovias, dos quais se destacam os Veículos Aéreos não Tripulados e Sistemas LiDAR para captação da realidade virtual, e utilização de sistemas de acompanhamento 3D de máquinas pesadas de obra.

## **1.1 Motivação e Enquadramento do Tema**

Abraçar novos desafios com uma idade superior a 40 anos não é fácil, tendo em consideração o facto da maioria das empresas, incluindo as da construção civil, regra geral, preferir contratar profissionais qualificados no início da sua carreira.

A chegada da crise financeira a Portugal entre 2007 e 2013, motivada no essencial pela elevada dívida pública, criou problemas de liquidez no sistema bancário, o que provocou a diminuição da procura interna, com consequências graves para a maior parte dos setores da economia.

Como o setor de construção depende bastante do crédito, este foi um dos mais afetados, sendo este um dos motivos que tornaram os cursos de ensino superior na área de construção menos atrativos conduzindo a uma quebra na formação de novos profissionais na área de Engenharia Civil.

Neste contexto, a motivação para a escolha da modalidade de conclusão do percurso académico foi influenciada por vários fatores, nomeadamente a idade, os encargos, o apoio à família, as oportunidades de emprego, mas principalmente na constatação de que a oferta de emprego para engenheiros civis é muito maior que a procura, especialmente na área de vias de comunicação, onde se integra a componente ferroviária.

A ferrovia é um pilar importante no desenvolvimento socioeconómico de qualquer país. A utilização eficiente e a otimização do seu funcionamento permitem reduzir a utilização de outros meios de transporte cuja influência para o meio ambiente não é benéfica. O transporte ferroviário é um meio seguro e eficaz para o transporte de passageiros e mercadorias em larga escala.

Em termos históricos, em 27 de setembro de 1825 foi inaugurada a primeira linha de caminho de ferro, concretamente em Inglaterra, entre Darlington e Stockton. Em Portugal, só passados 31 anos foi inaugurada a primeira linha de comboio, de Lisboa até ao Carregado [1].

Ao longo do seu desenvolvimento, a ferrovia atravessou altos e baixos na construção e exploração, sendo que atualmente, em resultado das alterações climáticas e da necessidade de redução do consumo dos combustíveis fósseis, é praticamente um denominador comum a necessidade de uma maior aposta na ferrovia, tanto para o transporte de passageiros como de mercadorias, uma vez que a sua “pegada ecológica” é mais reduzida em comparação com a de outros meios de transporte.

Em Portugal, com a implementação dos programas “Ferrovia 2020” e “PNI 2030” assiste-se a uma revitalização significativa do transporte ferroviário, sendo que destes programas se destacam as seguintes prioridades:

- Compromissos internacionais, incluindo os bilaterais com Espanha e os que resultam do Corredor Atlântico;
- Fomento do transporte de mercadorias e em particular das exportações;
- Articulação entre os portos nacionais e as principais fronteiras terrestres com Espanha.

Em resultado dos referidos programas, pode afirmar-se que presentemente as maiores empreitadas de obras públicas a decorrer em Portugal são dedicadas à ferrovia. Por outro lado, e tendo em conta que os métodos construtivos não tiveram a evolução desejável, é imprescindível que algo seja feito para tornar esses métodos mais eficientes tanto ao nível da otimização de recursos como da qualidade final da obra, ou seja, é necessário inovar.

A inovação refere-se à introdução de novas metodologias ou metodologias significativamente melhoradas, seja com a adoção de novos produtos, processos, métodos ou ideias, que trazem valor acrescentado ou benefício. Ocorre em diversos setores, tais como na tecnologia, negócios, ciência, saúde, educação e muito mais.

A inovação é assim fundamental para o progresso económico, social e tecnológico de uma sociedade. A capacidade de inovar é considerada uma vantagem competitiva em muitos setores, impulsionando o crescimento económico e a melhoria da qualidade de vida.

Empresas, governos e organizações estão a aplicar vários incentivos para fomentar a inovação e para se manterem relevantes num mundo em constante evolução.

Sendo a ferrovia uma área multidisciplinar com uma forte intervenção na área da engenharia civil, envolvendo as áreas de projeto, construção, fiscalização e manutenção, o uso de técnicas inovadoras também terá de ser multidisciplinar, envolvendo diversas especialidades e as diferentes etapas ao longo do processo, ou seja, desde o projeto à materialização em obra, sem esquecer a posterior manutenção e monitorização ao longo da sua vida útil.

O presente trabalho incidiu sobre a caracterização das técnicas presentes no mercado de captação de realidade virtual para realização de projetos e implementação dos mesmos. São apresentadas soluções de acompanhamento de máquinas pesadas de obra por sistemas 3D, cujo objetivo é melhorar o desempenho humano nos diversos trabalhos de construção através da aplicação das referidas tecnologias na empreitada durante a realização do estágio.

## **1.2 Apresentação da Empresa**

A Sacyr Ingeniería e Infraestructuras, empresa onde o autor do presente relatório exerce a sua atividade profissional, é uma multinacional de infraestruturas e serviços que se encontra cotada no IBEX 35, sendo uma das empresas de referência no desenvolvimento de grandes projetos de obra civil, industrial, infraestruturas de transporte e edificações [2].

Desde 1986 que se encontra envolvida em múltiplas obras, inicialmente em Espanha e mais tarde expandindo-se para outros países, destacando-se pela sua complexidade e grandiosidade as realizadas nos seguintes domínios:

- Obras Civis e Infraestruturas de Transporte;
- Edificação residencial e não-residencial;
- Projetos hídricos;
- Chave na mão / EPC;
- Conceção e construção de projetos singulares.

Dessas intervenções resultaram até à data mais de 5.600 km de estradas e autoestradas, 1.100 km de linhas ferroviárias, 150 km de viadutos, 420 km de túneis e 60 hospitais em cerca de 30 países de todo o mundo [2].

No ano 2001, forma-se uma parceria com a portuguesa Somague, SA., sendo esta plenamente integrada no grupo em 2004, dando origem a um grupo maior, mais forte e com excelente potencial empresarial, capaz de competir a outra escala. A Sacyr adquiriu notoriedade na Península Ibérica em obras ferroviárias graças à portuguesa Neopul, empresa integrada no grupo Somague em 2002 [2].

Na empreitada que suporta o presente relatório, a Sacyr-Somague é responsável pela atividade da construção civil e gestão do contrato, enquanto a Sacyr-Neopul é responsável pela superestrutura e catenária da via-férrea. Na organização estão integradas na “Sacyr Ingeniería e Infraestructuras”, cujo modelo de negócios se encontra devidamente definido na Figura 1-1.

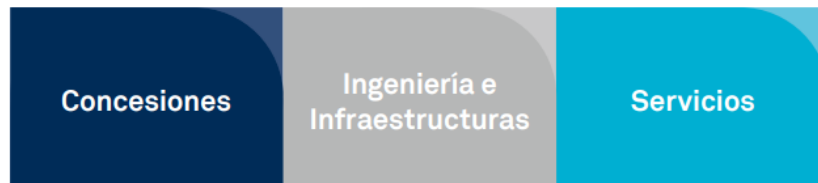


Figura 1-1 – Modelo do Negócio da Sacyr  
[2]

### 1.3 Objetivos

O objetivo principal deste TFM é o estudo e apresentação de tecnologias de captação da realidade virtual e a utilização de novas tecnologias no apoio a construção / manutenção de infraestruturas ferroviárias, em particular no que se refere nos seguintes aspetos:

- Descrição de tecnologias para captação da realidade virtual e sistemas de acompanhamento de máquinas pesadas de obra;
- Acompanhamento de uma empreitada de construção civil, com uma forte vertente na área ferroviária, para obtenção de competências específicas no âmbito da ferrovia;
- Utilização na referida empreitada de novas tecnologias, nomeadamente o Veículo Aéreo não Tripulado (UAV), Varrimento Laser / LiDAR e soluções 3D para acompanhamento de máquinas pesadas (atacadeiras de via);
- Obter conclusões da utilização (ou não) das tecnologias referidas anteriormente;
- Elaboração de propostas para implementação e utilização das tecnologias abordadas em futuras empreitadas.

### 1.4 Metodologia

Em consonância com os objetivos propostos, foi considerada a metodologia apresentada em seguida, enquadrada na realização de um estágio profissional, envolvendo o acompanhamento de uma empreitada ferroviária, concretamente a modernização do troço entre Vale de Figueira e o Entroncamento, na Linha do Norte:

- a) Compreender os processos de produção e fazer a sua associação aos conceitos teóricos ministrados durante o seu percurso académico e adquirir competências no âmbito dos trabalhos da ferrovia;

- b) Participar na planificação / programação das atividades, nomeadamente em termos de interdições, como, por exemplo, para a realização de trabalhos de tratamento da plataforma ferroviária e assentamento de Aparelhos de Mudança de Via (AMV);
- c) Utilizar as novas tecnologias na realização de atividades inerentes à empreitada;
- d) Analisar os resultados obtidos e proceder à sua comparação com situações da sua não utilização;
- e) Discussão conjunta com outros elementos do corpo técnico das conclusões obtidas;
- f) Elaboração de propostas para implementação das novas tecnologias, bem como de metodologias para a sua melhoria de forma continuada.

## **1.5 Estrutura do Documento**

O presente documento é constituído por 5 capítulos, cujo conteúdo se sintetiza em seguida:

- **Capítulo 1 – “Introdução”**

São apresentados os objetivos do documento e as motivações que levaram à escolha do tema, bem como o seu enquadramento no contexto de uma área específica das vias de comunicação com especial enfoque na ferrovia.

É igualmente feita a apresentação da empresa onde o Estágio foi realizado, definidos os objetivos, as metodologias para a sua concretização e ainda apresentada estrutura do documento.

- **Capítulo 2 – “Novas tecnologias para apoio à Construção / Modernização na Ferrovia”**

É feita uma apresentação das novas tecnologias para apoio à Construção / Modernização, concretamente Veículos Aéreos não Tripulados (UAV), sistemas “Laser Scanning” LiDAR e ainda soluções 3D para acompanhamento de máquinas pesadas de Via (Atacadeiras).

No caso particular dos UAV são apresentadas matérias inerentes à sua utilização (legislação), bem como aspetos relativos aos seus princípios de funcionamento, como sejam a deteção remota, sensores utilizados, integração com Sistemas de Informação Geográfica (SIG), procedimentos a observar para a utilização destes equipamentos e finalmente o processamento digital das imagens obtidas.

- **Capítulo 3 – “O Projeto”**

É apresentada uma síntese do projeto de Modernização da Linha do Norte entre Vale de Figueira e o Entroncamento, projeto que deu origem à empreitada atualmente em curso e onde se pretenderam colocar em prática novas tecnologias para dar apoio à

realização deste tipo de intervenção. São ainda feitas referências ao Faseamento Construtivo e às Condições de Exploração estabelecidas pelo Dono de Obra, para a intervenção em causa.

- Capítulo 4 – “A Empreitada”

É apresentada uma breve caracterização da empreitada em termos de duração e da solução de faseamento alternativo proposto.

Complementarmente são apresentadas algumas atividades desenvolvidas na mesma com recurso a tecnologias inovadoras (Veículo Aéreo não Tripulado e acompanhamento 3D de atacadeira de via).

- Capítulo 5 – “Conclusões e desenvolvimentos futuros”

São explanadas as principais conclusões e descrevem-se as perspetivas futuras relacionadas com o tema escolhido.

## **2 NOVAS TECNOLOGIAS PARA APOIO À CONSTRUÇÃO / MODERNIZAÇÃO NA FERROVIA**

Atualmente vivem-se tempos complexos e de mudança que obrigam a enfrentar a realidade de formas diferentes comparativamente com o que se passou no passado, mesmo que recente, sendo que os novos desafios exigem novas formas de recolha de informação, de projetar, de construir e de monitorizar as infraestruturas ao longo da sua vida útil.

No caso particular das infraestruturas no domínio das Vias de Comunicação, em particular de natureza rodoviária e ferroviária, regista-se uma preocupação constante no desenvolvimento e implementação de soluções inovadoras que permitam uma maior rentabilização de recursos, menores riscos para os executantes, mas igualmente a obtenção de uma melhor qualidade no produto final.

Nesta ótica, apresentam-se em seguida algumas das novas tecnologias que já são ou podem vir a ser implementadas no âmbito das infraestruturas de Vias de Comunicação, onde se enquadram as vias-férreas.

### **2.1 Veículos Aéreos não Tripulados (UAV)**

A designação mais conhecida e popular para estes equipamentos é de “Drone” (cuja tradução do inglês é zangão), embora existam outras terminologias associadas a este tipo de aeronaves.

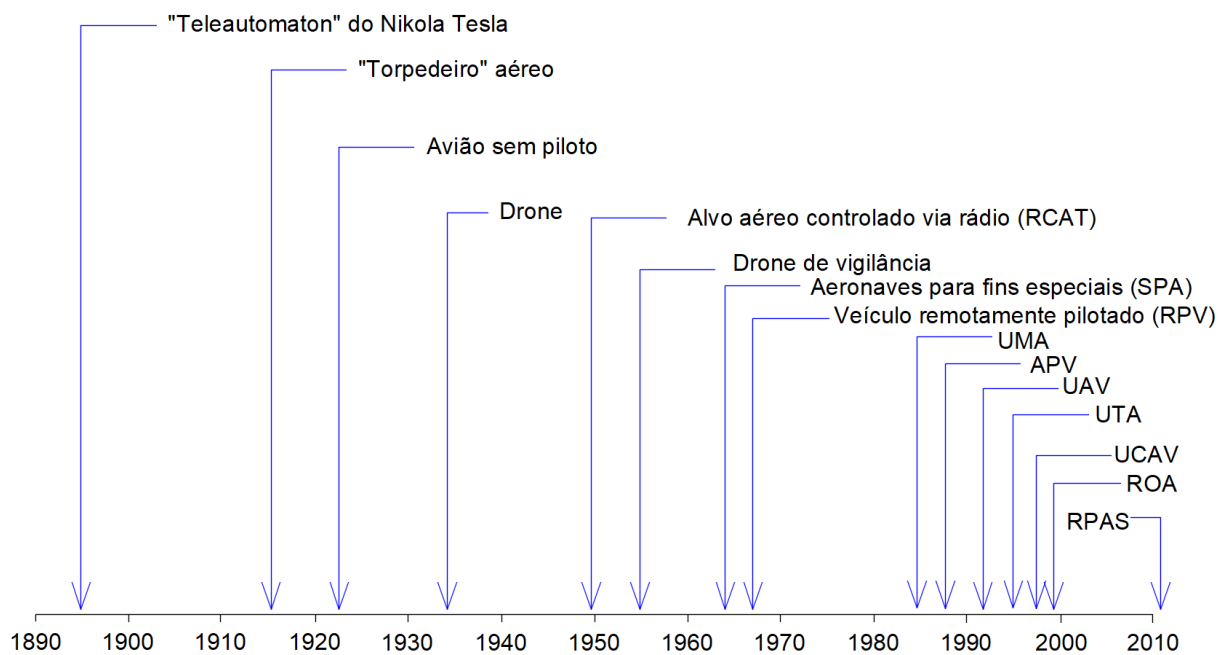
Na década de 90, a terminologia mais comum para descrever este tipo de aeronaves foi Veículo Aéreo não Tripulado, correspondente às siglas UAV - *Unmanned Aerial Vehicle* ou UAS - *Unmanned Aerial System* [3].

Em 2010, a Joint Publication 1-02 [4] editada pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América do Norte, define UAV como *“Um veículo aéreo motorizado que não leva a bordo um operador humano, utiliza as forças aerodinâmicas para gerar a sustentação, pode voar autonomamente ou ser tripulado de forma remota, que pode ser fungível ou recuperado, que pode transportar uma carga letal ou não. Não se consideram UAV os mísseis balísticos e semibalísticos, mísseis de cruzeiro e projéteis de artilharia”*.

No ano de 2011, a Organização de Aviação Civil Internacional, organismo dependente das Nações Unidas, reconhece as aeronaves não tripuladas como aeronaves e, entre todos os tipos, escolheu aquelas que são pilotadas remotamente para serem consideradas adequadas para aviação civil. Assim, foi apurado o termo Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas (com a sigla em inglês RPAS - *Remotely-Piloted Aircraft System*), como um conjunto de elementos configuráveis formado por uma aeronave, com a sua estação de pilotagem

associada ao sistema de ligação do comando remoto e qualquer outro elemento necessário à operação do voo [5].

Conforme já mencionado, embora DRONE, UAV e RPAS sejam os nomes mais utilizados, não são os únicos. Na Figura 2-1 pode ser observada a cronologia das diferentes designações pelas quais foram conhecidos esses sistemas de aeronaves robóticas não tripuladas e pilotadas remotamente.



**Figura 2-1 – Cronologia das designações utilizadas para as Aeronaves não tripuladas e remotamente pilotadas (adaptado de [3])**

A aviação não tripulada teve o seu início nos modelos construídos e voados por inventores como Cayley, Stringfellow, Du Temple e outros pioneiros de aviação, que foram anteriores às suas próprias tentativas de desenvolver aeronaves tripuladas ao longo da primeira metade do século XIX. Desde as suas origens, no princípio do século XIX os Drones têm estado ligados ao campo militar e destinados principalmente a missões de reconhecimento, mas nos últimos anos, o desenvolvimento da microcomputação, da robótica, da miniaturização de componentes e dos Sistemas de Navegação por Satélite (popularmente conhecidos como sistemas GPS), dotadas com sensores óticos de alta resolução abriu o caminho de aplicação de Drones em diversas áreas de atividade civil, com uma forte presença na área de engenharia civil, agricultura e muitas outras áreas [3].

A tipologia e as características dos Drones são variadas e condicionam as suas aplicações, podendo os mesmos ser classificados de acordo com os seguintes parâmetros:

- A capacidade de voo
  - Alcance;

- Altitude;
- Autonomia.
- Capacidade de carga
- Tipo de descolagem
  - Descolagem vertical (Figura 2-2), de asas rotativas ou hélices (helicópteros e multirotores). Podem girar sobre si mesmo, razão pela qual os torna especialmente versáteis em trabalhos verticais;
  - Descolagem não vertical (Figura 2-3), estruturalmente correspondem às aeronaves de asa fixa.



Figura 2-2 – Drone de asa rotativa



Figura 2-3 – Drone de asa fixa

### 2.1.1 Legislação para a utilização de Drones

O aumento considerável do número de pessoas a utilizar Drones em operações civis, conduziu a questões de Segurança Operacional, a riscos associados à interferência ilícita, à privacidade e ao ambiente, o que obrigou os países à necessidade de regular o setor, estabelecendo regras e procedimentos que têm de ser respeitados por quem pretenda operar um Drone [6].

Com efeito, a operação de drones poderá ter consequências imprevistas sobre terceiros, como por exemplo:

- Segurança operacional em resultado de embate ou queda sobre pessoas ou bens;
- Invasão de privacidade decorrente da captura de dados pessoais (imagens e / ou som) sem o consentimento dos visados;
- Segurança de equipamentos e instalações, fruto de acesso ilícito a áreas sensíveis e interditas, como por exemplo aeroportos e corredores de aproximação aos mesmos;
- Ambiente, dado que atualmente os Drones têm capacidade para o transporte de produtos com substâncias nocivas para o ambiente, substâncias essas que poderão ser libertadas em caso de incidente, ou mesmo em situações intencionais.

Devido a estes riscos e por não existirem regras, os estados-membros da UE, na qual se inclui Portugal, começaram a criar leis apenas aplicáveis no próprio País. No entanto, no domínio

da aviação, na Europa existem regras comuns que garantem a segurança das operações de forma integrada. As regras comuns no domínio da Segurança facilitam o movimento livre dos operadores entre os vários estados, pois sendo as regras iguais, um operador que as cumpre em Portugal, se pretender operar em qualquer outro estado membro, pode fazê-lo, desde que respeite as mesmas regras [6].

A Comissão Europeia, por ser responsável pela elaboração de propostas de novas leis europeias e pela execução das decisões do Parlamento Europeu e do Conselho da UE, decidiu regular as Operações de UAS na Europa a fim de garantir que as regras são as mesmas. A Comissão Europeia é assistida pela agência da União Europeia para a Segurança de Aviação Civil (EASA). Neste âmbito a EASA elabora o esboço das regras de Segurança comuns e submete-o à Comissão Europeia, a fim de esta adotar o mesmo sob a forma de um regulamento europeu de execução ou delegado [6].

A EASA [7] é responsável no âmbito de aeronaves não tripuladas por:

- Assistir a Comissão Europeia na preparação das regras comuns de segurança, contribuindo assim para a elaboração da regulamentação europeia e sua alteração. No domínio dos UAS os regulamentos que se encontram atualmente publicados, são os seguintes:
  - O Regulamento de Execução (EU) 2019/947, onde, na categoria aberta, o mais importante é o registo, as zonas geográficas e as regras e os procedimentos a aplicar (Parte A);
  - O Regulamento Delegado (EU) 2019/945, que explicita quais os UAS colocados e disponibilizados no mercado a utilizar na categoria aberta, nomeadamente os Drones;
  - O Regulamento de Execução (EU) 2021/664, que será apenas aplicável a partir de 26 de janeiro de 2026 e focado em relação a matérias ligadas à utilização de aeronaves não tripuladas em espaços aéreos controlados.
- Emitir especificações de certificação, meios aceitáveis de conformidade e material de orientação:

A EASA publicou um documento que contém os meios de conformidade e o material de orientação “Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM)” [8]. Este documento tem informações úteis para os operadores de categoria aberta a cumprir com o regulamento.

- Certificar aeronaves, motores, hélices, peças e equipamentos não instalados:

Os Drones que serão utilizados na categoria aberta não são certificados. Apenas a EASA pode certificar Drones.

- Auxiliar a Comissão Europeia na monitorização da aplicação correta dos requisitos comuns de segurança da aviação pelos Estados Membros da UE:

A EASA desloca-se a Portugal para proceder à verificação do cumprimento dos regulamentos que estão estabelecidos. Com esse fim, a Autoridade Nacional de Aviação Civil (ANAC) disponibiliza esta informação no portal oficial e verifica se os pilotos de Drones e os operadores estão a cumprir com o regulamento.

- Cooperar com autoridades estrangeiras de aviação civil e organizações nacionais e internacionais para aumentar a segurança de aviação na europa e no mundo:

A EASA e a ANAC, bem como, as autoridades de outros Países, cooperam a fim de assegurar a segurança das operações na Europa [6].

A ANAC é a autoridade nacional em matéria de aviação civil e exerce funções de regulação, fiscalização e supervisão do setor de aviação civil, e rege-se de acordo com o disposto no direito internacional e europeu, na lei-quadro das entidades reguladoras, nos seus estatutos e na demais legislação setorial aplicável. A ANAC foi designada pelo estado português para exercer, entre outras, as seguintes funções:

- Registo dos operadores de UAS e dos UAS que carecem de registo individual em Portugal por serem certificados (pela EASA);
- Formação e exames aos pilotos remotos da categoria aberta e específica declarativa;
- Supervisão das operações a fim de verificar se as regras são cumpridas [6].

No portal da ANAC, na secção relativa aos sistemas de aeronaves não tripuladas (UAS) é possível consultar informação relativa a:

- Registo do operador de UAS;
- Categoria aberta (regras e procedimentos);
- Competência de piloto remoto nas subcategorias da categoria aberta;
- Zonas geográficas.

### **2.1.2 Detecção remota com recurso a Drones**

Com o presente subcapítulo pretende-se abordar os princípios físicos em que se baseia a obtenção de dados, utilizando sensores instalados num Drone.

Muitas das vezes um Drone é caracterizado pela sua versatilidade e pelas capacidades de voo. No entanto, o que efetivamente deve ser tido em consideração são as suas potenciais aplicações com base nos sensores que o mesmo suporta.

De entre as múltiplas possibilidades, destacam-se os seguintes tipos de sensores:

- Camaras fotográficos e/ou de vídeo;
- Instrumentos que captam a radiação eletromagnética (teledeteção) ou campos elétricos, magnéticos e gravimétricos (geofísica);
- Embora de utilização mais restrita, sensores químicos que recolhem dados de gases atmosféricos, partículas químicas, radioativas e outros contaminantes.

Neste domínio, refere-se a título de exemplo, a utilização deste tipo de equipamentos na monitorização da contaminação radioativa decorrente do acidente nuclear de Fukushima (Japão) no ano de 2011, permitindo minimizar o contacto direto das pessoas com a radiação. Situação que não sucedeu no acidente na central nuclear de Chernobil em 1986, onde, para filmagens e medições, utilizavam helicópteros, tendo inclusive ocorrido um acidente grave em resultado do embate de uma dessas aeronaves com uma grua e que se despenhou no meio dos destroços do reator (Figura 2-4).



Figura 2-4 – Desastre aéreo ocorrido no acidente nuclear de Chernóbyl – União Soviética 1986 [9]

### 2.1.2.1 Definição e conceitos de deteção remota

Entende-se por deteção remota (“Remote Sensing”) como sendo a capacidade de obter informação de um objeto sem ter contacto físico com o mesmo, através do estudo da radiação eletromagnética refletida ou irradiada por este.

Na simples leitura de um texto, estamos a fazer deteção remota, os nossos olhos estão a agir como sensores que respondem à luz emitida pela página. Os “dados” que os nossos olhos captam são impulsos correspondentes à quantidade de luz refletida das áreas escuras e claras da página. Esses dados são analisados, ou interpretados, no nosso “computador”

mental para deduzir que as áreas escuras e claras da página formam um conjunto de letras, cuja formação representa palavras, e além disso percebe-se que as letras e palavras formam frases e somos capazes de extrair a informação que as mesmas transmitem [10].

Em muitos aspectos a detecção remota pode ser considerada como um processo de leitura. Por meio de diversos sensores, coletam-se remotamente dados que podem ser analisados para obter informação sobre o objeto, área ou fenômenos estudados. Os dados obtidos remotamente podem ter várias formas, incluindo variações nas distribuições das forças, distribuição das ondas acústicas, ou distribuição da energia eletromagnética [10].

Esta técnica, que permite adquirir informação de um objeto à distância, baseia-se na resposta espectral própria de cada objeto da superfície terrestre. Para isto, é necessário contar com instrumentos capazes de registrar a radiação refletida pela Terra e transformar num sinal suscetível de ser manipulado em modo analógico ou digital [11].

Até muito recentemente quando era utilizado o termo de detecção remota, relacionava-se com imagens de satélite para diferenciar da fotografia aérea convencional. Esta diferenciação era dada pela forma de como a radiação eletromagnética era registada. Na fotogrametria, as câmaras fotográficas detetavam as variações de energia, mediante do uso de reagentes químicos, que emulsionam uma película sensível à luz. Na detecção remota aeroespacial, os sensores usados codificam a irradiação eletromagnética num conjunto de dados digitais, que constituem uma imagem [11].

Se radiação eletromagnética é a fonte dos dados, o laser, o radar, os “scanners” multiespectrais e as câmaras fotográficas são os sensores utilizados para capturar esta energia eletromagnética e por seu lado os aviões, satélites e os Drones são plataformas de observação onde se instalam os referidos sensores de aquisição da informação.

De acordo com a definição de detecção remota, para que a observação seja possível, é necessário que entre os objetos e o sensor exista algum tipo de interação. Desta forma, os três elementos principais em detecção remota são o sensor, o objeto observado e o fluxo energético que se produz entre eles. O tipo de fluxo energético que se pode produzir é a energia refletida e a energia emitida pelo objeto. Na detecção remota o tipo de energia mais utilizada é a refletida pela superfície terrestre com consequência da iluminação solar. De igual forma, a observação pode basear-se na energia emitida pelas próprias superfícies ou no que se pode emitir de um sensor que seja capaz de gerar o seu próprio fluxo de energia e posteriormente recolher o seu reflexo na superfície terrestre. Em qualquer destes casos, o fluxo de energia entre a superfície terrestre e o sensor representa uma forma de radiação eletromagnética [10].

### 2.1.2.2 A radiação eletromagnética

A luz visível é uma das muitas formas de energia eletromagnética. Ondas rádio, raios ultravioletas, calor radiante e raios X são outras formas familiares de energia. Todas estas energias são inerentemente similares e propagam-se de acordo com a teoria básica das ondas. Como indicado na Figura 2-5, esta teoria descreve a energia eletromagnética a viajar de uma forma harmónica e sinusoidal à velocidade da luz ( $c$ ). A onda eletromagnética está formada por campo eléctrico ( $E$ ) vertical e um campo magnético horizontal ( $M$ ), perpendiculares entre si e transversais na direcção da propagação [10].

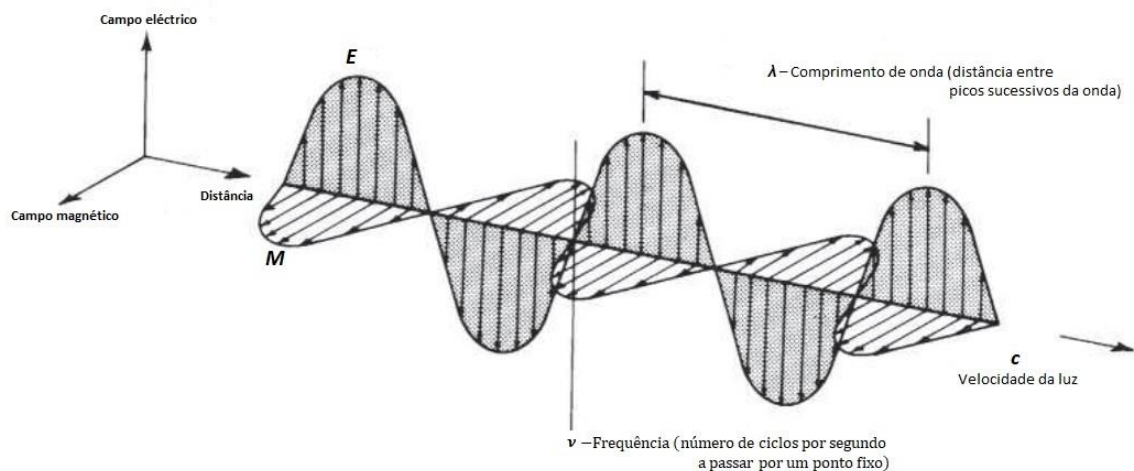


Figura 2-5 – Onda eletromagnética [10]

Da física básica, as ondas obedecem à equação geral (2.1) que se apresenta em seguida.

$$c = \nu\lambda \quad (2.1)$$

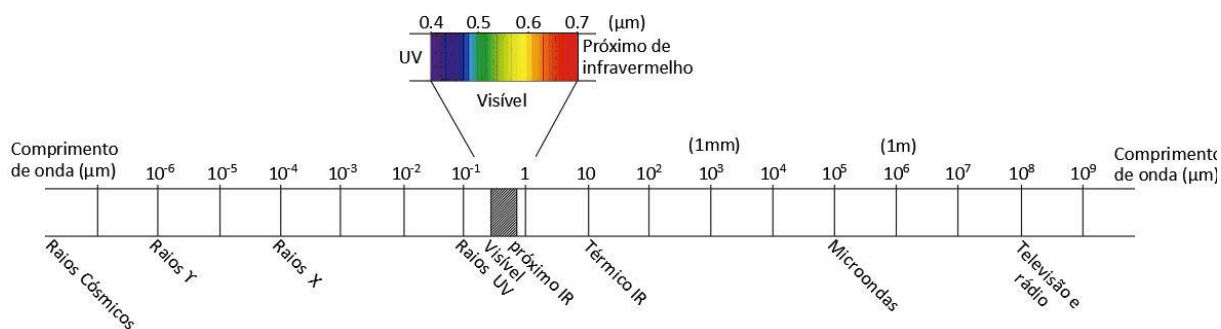
Em que:

$c$  – Constante –  $3 \times 10^8$  (m/s);

$\nu$  – Frequência (Hz);

$\lambda$  – Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )

Dado que  $c$  é uma constante de valor igual a  $3 \times 10^8$  m/s,  $\nu$  a frequência e o  $\lambda$  comprimento de onda para qualquer onda dada estão inversamente relacionadas e ambos os termos podem ser usados a caracterizar. A unidade mais comum usada para medir o comprimento de onda ao longo do espectro é o micrómetro ( $\mu\text{m}$ ) - um micrómetro é equivalente a  $1 \times 10^{-6}$  m. Embora as designações como “ultravioleta” e “micro-onda” sejam atribuídos a regiões do espectro eletromagnético por conveniência, não existe uma linha divisória clara entre uma região espectral nominal e a seguinte. As divisões do espectro (Figura 2-6) aumentaram mais a partir dos vários métodos para detetar cada tipo de radiação, do que a partir de diferenças inerentes das características energéticas do comprimento de onda [10].



**Figura 2-6 – O espectro eletromagnético [10]**

Outra teoria, designada pela teoria de partículas oferece uma perspectiva útil de como a energia eletromagnética interage com a matéria. Esta teoria sugere que a radiação eletromagnética é composta por muitas unidades discretas, denominadas por fóton ou quantum. A energia do quantum é dada pela expressão (2.2) que se apresenta em seguida.

$$Q = h\nu \quad (2.2)$$

Em que:

$Q$  – Energia do quantum, mediada em joules (J)

$h$  – Constante de Plank,  $6.626 \times 10^{-34}$  (J·s)

$\nu$  – Frequência (Hz)

O modelo quântico e o modelo ondulatório da radiação eletromagnética podem relacionar-se substituindo na equação (2.1) o valor da frequência  $\nu$  na equação (2.2) para obter a seguinte expressão:

$$Q = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (2.3)$$

Em que:

$Q$  – Energia do quantum, medida em joules (J)

$h$  – Constante de Plank,  $6.626 \times 10^{-34}$  (J·s)

$c$  – Constante -  $3 \times 10^8$  (m/s)

$\lambda$  – Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )

Esta relação expressa que, quanto maior é a energia do fóton, maior é a frequência e menor é comprimento da onda. Esta propriedade é importante na detecção remota, porque para a radiação emitida em comprimentos de onda largos é mais complicado captar em comparação com aquela radiação cuja emissão ocorre em comprimentos de onda mais curtos. A baixa quantidade de energia em radiação de comprimento de onda larga, para que os sistemas de captação funcionem neste espectro, obriga a coligir informação em grande escala (superfícies

de captação mais amplas, o que se traduz no maior tamanho do pixel) para captar suficiente resposta espectral pelos sensores utilizados [10].

As frequências das ondas eletromagnéticas são muito variáveis, desde o tamanho de uma partícula subatômica até ao tamanho de uma montanha, de modo que as energias associadas também o são. O intervalo de variação das frequências das ondas eletromagnéticas é tão amplo que as mesmas se classificam em vários tipos, dado que os seus efeitos são muito diferentes [10].

Na deteção remota, as regiões mais utilizadas são:

- A região do visível, que se estende entre 0,40  $\mu\text{m}$  e 0,70  $\mu\text{m}$ ;
- A região do infravermelho refletido, entre 0,70  $\mu\text{m}$  e 3 $\mu\text{m}$ ;
- O infravermelho térmico, que se apresenta entre 3  $\mu\text{m}$  e 14  $\mu\text{m}$ ;
- A região de micro-ondas, que recorre a comprimentos de onda mais largos, desde 0,30 a 300 cm [10].

Embora o espectro eletromagnético seja um sistema contínuo, do ponto de vista da sua utilidade prática, e devido às limitações dos sensores de deteção e das fontes de energia disponíveis, consideram-se os quatro segmentos seguintes:

- Radiações de alta energia emitidas por objetos da superfície terrestre em quantidades muito pequenas – correspondem aos sistemas de espectroscopia gama e ultravioleta;
- Radiações emitidas pelo Sol e refletidas pela superfície terrestre – intervalo do espectro que se utiliza nos sistemas de fotografia convencional e na observação da Terra a partir dos satélites artificiais;
- Radiações infravermelhas emitidas pela superfície da terra, frequentemente denominado por infravermelho térmico;
- Ondas de baixa energia, com um comprimento de onda na ordem dos milímetros a centímetros, tanto emitidas pela superfície terrestre, como emitidas por um sensor ativo e refletidas na superfície terrestre [10].

O Sol é a fonte mais óbvia de radiação eletromagnética para a deteção remota. No entanto, toda matéria com temperaturas acima do zero absoluto (0 K ou -273 °C) emite constantemente radiação eletromagnética. A quantidade de energia que qualquer objeto emite depende da temperatura da superfície do mesmo. Esta propriedade é expressa pela Lei de Stefan-Boltzman (2.4) que se apresenta em seguida:

$$M = \sigma T^4 \quad (2.4)$$

Em que:

*M* – Excitação radiante total da superfície de um material, watts ( $W \cdot m^{-2}$ )

$\sigma$  – constante Stefan-Boltzmann,  $5.6697 \times 10^{-8} (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4})$

$T$  – Temperatura absoluta (K) do material que está a emitir a energia

É de notar que esta lei expressa uma fonte de energia, cujo comportamento é característico de um corpo negro [10].

Um corpo negro absorve por igual a energia contida em todos os comprimentos de onda recebidos, com o fim de manter uma temperatura constante por aceleração das camadas elétricas, mas a absorção da energia provoca uma aceleração dos eletrões nas camadas eletrónicas e isso provoca um aumento da temperatura [10].

A energia irradiada é função da temperatura cinética do corpo e da frequência ou do comprimento da onda emitido. À medida que a temperatura absoluta de um corpo muda, o comprimento da onda dominante  $\lambda_m$  move-se de acordo com a relação (2.5):

$$\lambda_m = \frac{A}{T} \quad (2.5)$$

Em que:

$\lambda_m$  – Comprimento de onda da excitação radiante máxima, ( $\mu m$ )

$A$  – Designada como a constante de Wien, cujo valor é aproximadamente  $2898 \mu m \cdot K$

$T$  – Temperatura, (K).

Esta relação é conhecida como a Lei do Deslocamento de Wein (Figura 2-7).

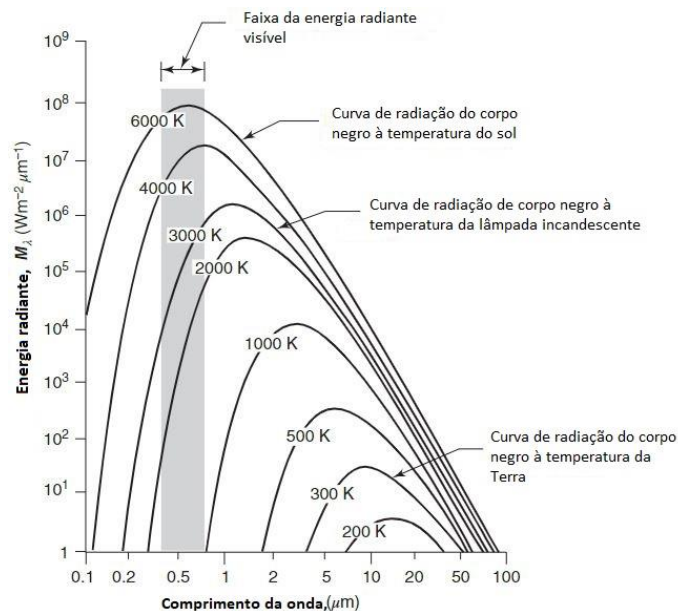


Figura 2-7 – Curvas espectrais da energia irradiada por corpo negro a diferentes temperaturas [10]

Segundo esta lei, ao aumentar a temperatura produz-se um deslocamento do comprimento da onda para as regiões mais curtas. Estas curvas foram experimentadas para um corpo negro, que é um corpo hipotético, que absorve toda a radiação que incide sobre o mesmo e

a volta a emitir na sua totalidade, pelo que o mesmo se pode considerar como um emissor perfeito. O Sol comporta-se como um corpo negro a uma temperatura de 6.000 K, e irradia uma grande quantidade de energia em todas os comprimentos de onda, desde o ultravioleta até para além do infravermelho. Possui um máximo de energia para um comprimento de onda em torno de 0,5  $\mu\text{m}$ , que corresponde à luz verde. Isto explica que, durante o dia, o máximo da energia incidente e refletida pela superfície terrestre se apresente na região visível do espectro [10].

Por outro lado, a Terra apresenta temperaturas de 300 K (27°C) e irradia a energia numa faixa ampla, na região do infravermelho. O máximo de energia alcançada é para comprimentos de onda em torno de 9,7  $\mu\text{m}$ , que corresponde a infravermelho térmico. Este nível de energia é muito baixo, quando comparado com a energia solar refletida, mas é dominante durante as horas noturnas e ainda não pode ser captada pelas máquinas fotográficas. Actualmente é possível captar esta energia só com recurso a sensores multiespectrais [10].

### 2.1.2.3 Interações da radiação eletromagnética com a atmosfera

A fonte de radiação eletromagnética mais importante na deteção remota é o Sol, com um comprimento de onda dominante de 0,5  $\mu\text{m}$ , que corresponde à luz verde do visível. Esta radiação corresponde à energia solar refletida e que nos permite ver as características do terreno. Outra fonte importante de radiação é a temperatura da Terra, com um comprimento de onda dominante de 9,7  $\mu\text{m}$ , esta radiação representa a energia emitida pela superfície terrestre. Embora a radiação solar abranja comprimentos de onda entre 0,3 – 3  $\mu\text{m}$  sem interrupções, certo tipo de radiação não chega à superfície terrestre, dado que na sua viagem através da atmosfera, a energia eletromagnética interage com as moléculas gasosas e partículas em suspensão (aerossóis). Em linhas gerais, a energia solar sofre dois tipos de fenómenos: a dispersão e a absorção.

A dispersão (Figura 2-8) não atenua a radiação, mas produz mudanças na sua direção e intensidade, estas alterações dependem do comprimento da onda.

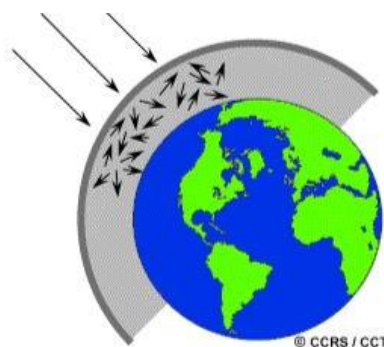


Figura 2-8 – Dispersão da radiação eletromagnética [12]

A dispersão divide-se em três classes, dependendo da relação existente entre o comprimento de onda da radiação e o tamanho das partículas que constituem a atmosfera:

- Dispersão de Rayleigh (Figura 2-9)

Ocorre quando o comprimento da onda da radiação incidente é muito maior que o tamanho das partículas da atmosfera. Este efeito explica o céu azul num dia claro, porque os comprimentos de onda mais curtos (azul), se dispersam muito mais que os comprimentos de onda mais largos (vermelho).

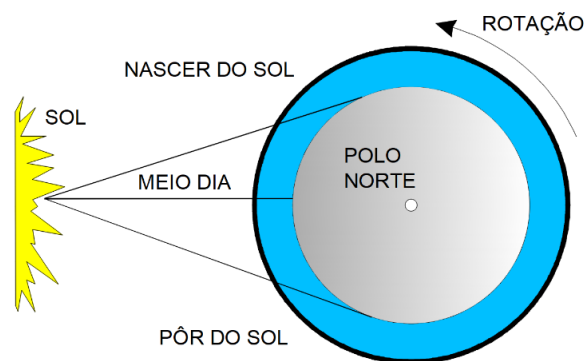


Figura 2-9 – Dispersão de Rayleigh da radiação eletromagnética (adaptado de [12])

- Dispersão de Mie (Figura 2-10)

Surge quando o diâmetro da partícula e o comprimento de onda de radiação são similares. Em detecção remota manifesta-se por uma deterioração geral das imagens do espectro ótico, devido à presença de vapor de água e poeira na atmosfera.



Figura 2-10 – Dispersão de Mie da radiação eletromagnética [12]

- Dispersão não seletiva

Ocorre quando o tamanho das partículas é muito maior que o comprimento de onda de radiação. Um efeito deste tipo de dispersão são as nuvens brancas, devido ao facto de que todos os comprimentos de onda visíveis estão espalhados em quantidades iguais [10].

Por outro lado, a absorção (Figura 2-11) é a retenção da energia radiante por um corpo ou por uma substância.

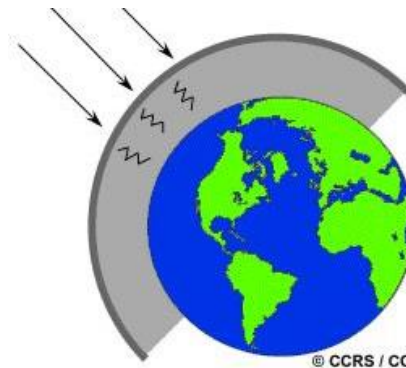


Figura 2-11 – Absorção da radiação eletromagnética [12]

Uma série de moléculas gasosas, que estão presentes na atmosfera, absorvem em processos rotacionais e vibracionais a energia correspondente a determinados comprimentos de onda. Por exemplo, a camada de ozono absorve completamente a radiação de longitudes de onda menores de  $0,3 \mu\text{m}$ , que corresponde à região ultravioleta. Se isto não acontecesse a vida na Terra não era possível [10].

Tendo em consideração que os gases presentes na atmosfera tendem a absorver a energia eletromagnética em certos comprimentos de onda, os mesmos influenciam bastante os sensores utilizados na detecção remota. As faixas de comprimento de onda nas quais a atmosfera é particularmente transmissiva são chamadas janelas atmosféricas [10].

#### 2.1.2.4 Interação da radiação eletromagnética com a superfície terrestre

A radiação que não é absorvida ou dispersada na atmosfera alcança e interage com a superfície terrestre (Figura 2-12). São conhecidas 4 formas de interação que pode ocorrer quando a energia acerta ou incide sobre a superfície, mais concretamente absorção, transmissão, reflexão e incidência.



Figura 2-12 – Interação com a superfície terrestre (adaptado de [12])

A absorção ocorre quando a radiação é absorvida no destino, enquanto a transmissão ocorre quando atravessa o objeto. Já a reflexão verifica-se quando a irradiação “salta” o objeto e é redirecionada. Na detecção remota, o objetivo é medir a radiação refletida pela superfície (Figura 2-13). São conhecidos dois tipos de reflexão que representam os extremos da maneira como a energia é refletida pelo objeto:

- Reflexão especular
- Reflexão difusa

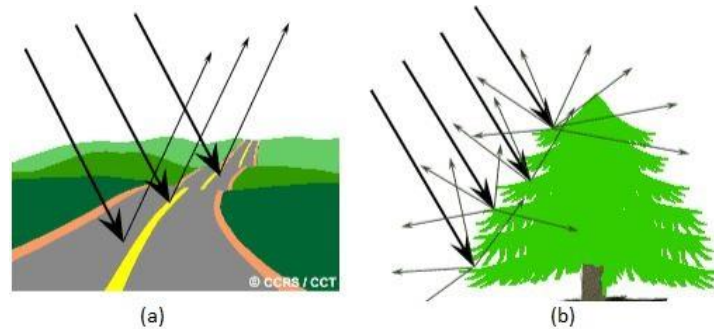


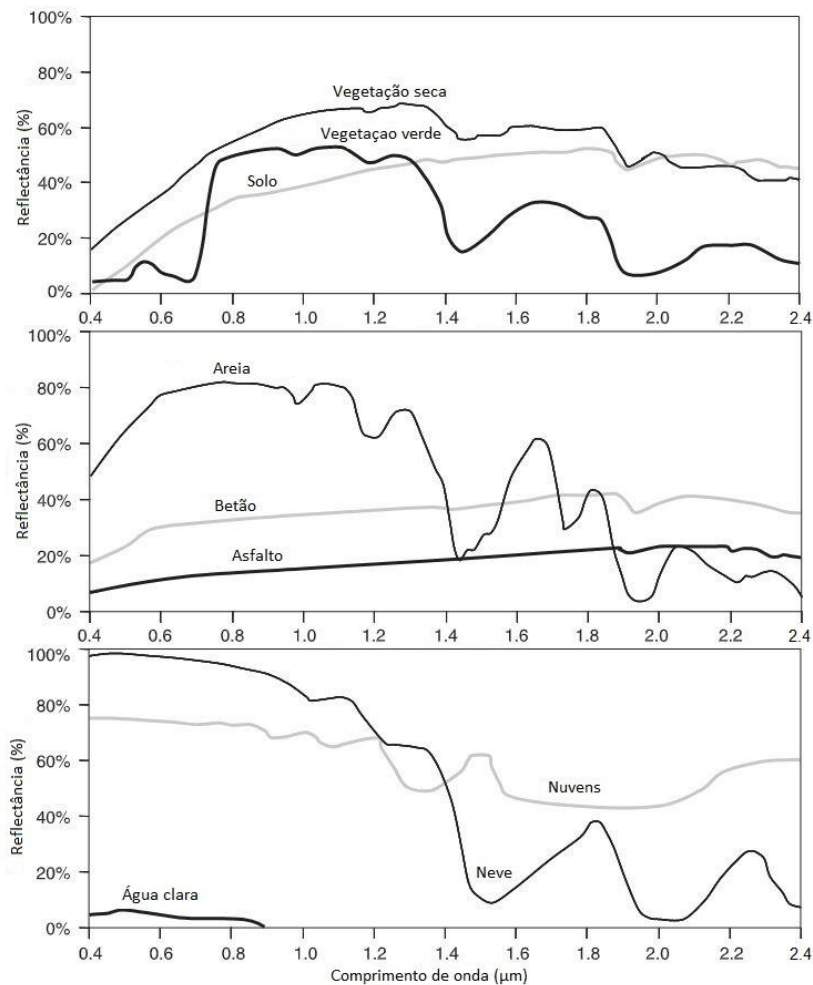
Figura 2-13 – Tipos de reflexão (a) Especular e (b) Difusa [12]

Quando a superfície é lisa, obtemos a reflexão especular ou espelhada, onde a maior parte da energia ou a totalidade da mesma é afastada da superfície. A reflexão difusa ocorre quando estamos na presença de superfícies irregulares ou rugosas, onde a energia é refletida quase uniformemente em todas as direções. A superfície terrestre pode-se caracterizar com propriedades de reflexão como perfeitamente especulares e difusas. Se os comprimentos de onda da energia eletromagnética forem muito menores que as variações da superfície ou os tamanhos das partículas que constituem a superfície terrestre, a reflexão difusa dominará. Como exemplo, um grão de área fina parece bastante liso para comprimentos de onda longos de micro-ondas, mas parece bastante anguloso para os comprimentos de ondas da região do visível [12].

#### 2.1.2.5 A resposta espectral

Graficamente, um objeto fica caracterizado pela sua curva de refletância espectral, em que se representa a capacidade de reflexão do objeto.

Na Figura 2-14, podem ser observadas as curvas de refletância espectral dos corpos de base que constituem a superfície Terrestre.



**Figura 2-14 – Curvas de refletância espectral [10]**

Analisando a curva de refletância espectral para a **vegetação verde**, identifica-se que na região do visível existem duas bandas de absorção em torno de  $0,45\mu\text{m}$  e  $0,65\mu\text{m}$ . Estas bandas de absorção são devidas à necessidade de energia por parte da clorofila para realizar a fotossíntese. Nesta região do visível, o vermelho e o azul são absorvidos, sendo o verde refletido na totalidade e, por esse motivo, vemos as folhas das plantas à cor verde. Na região do infravermelho, verifica-se que entre  $0,70\mu\text{m}$  e  $1,30\mu\text{m}$ , a refletância é muito alta (aproximadamente 50%), o valor da mesma é condicionado pela estrutura interna da folha. Devido a esta propriedade é possível diferenciar distintos tipos de plantas, atendendo às configurações das folhas. Acima de  $1,30\mu\text{m}$  até  $2,50\mu\text{m}$ , o conteúdo da folha determina a refletância da planta. O maior conteúdo de água na folha, sucede em menor valor de refletância [10].

A curva espectral do **solo** mostra como esta aumenta diretamente com o aumento do comprimento de onda. Os fatores que influenciam a refletância do solo são muitos: humidade, textura, estrutura, rugosidade, conteúdo em ferro e presença de matéria orgânica [10].

A curva de refletância espectral da **água** mostra a absorção total da energia na região do infravermelho. Para a detecção remota esta propriedade permite identificar com facilidade as superfícies de água que são pouco profundas e que contêm material em suspensão [10].

A resposta espectral de um objeto define-se como o vetor dos valores discretos do espectro ou a curva de reflectância apresentada pelo sensor.

É verdade que a superfície terrestre manifesta características de refletância muito distintas, estas características resultam em “padrões de resposta” espectrais em vez de “assinatura espectral”. A razão para isto é que o termo assinatura tende a implicar um padrão que é absoluto e único. Os padrões de resposta espectral medidos com recurso a sensores remotos podem ser quantitativos, mas não são absolutos. Eles podem ser distintos, mas não necessariamente únicos [10].

### **2.1.3 Sensores utilizados em Drones**

Neste subcapítulo pretende-se identificar e caracterizar os diferentes tipos de sensores que podem ser integrados na estrutura de um Drone para efeitos de captação e especificar / analisar a energia eletromagnética refletida pela superfície terrestre. Os sensores de aquisição da informação podem ser de dois tipos:

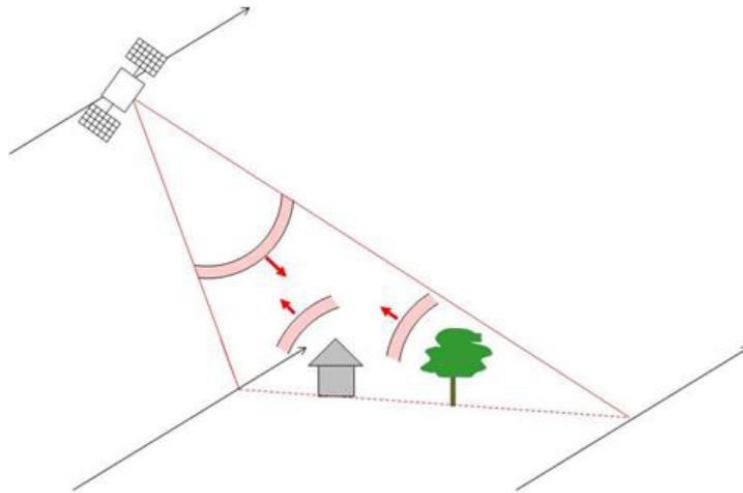
- **Passivos**

Os sistemas de detecção remota que medem a energia que é disponível naturalmente. Podem ser usados somente na presença da iluminação da superfície terrestre pela luz solar. Exceção em alguns casos pode ser o infravermelho térmico, que pode ser detetado em período noturno, desde que a emissão da energia seja de intensidade suficiente para ser registada. Alguns exemplos de sensores passivos são as câmaras fotográficas, espectrais de infravermelhos [12].

- **Ativos**

São sensores que fornecem a própria energia para a iluminação, emitindo radiação direcionada para o objeto em estudo. A radiação refletida é detetada e medida pelo sensor.

Os sensores ativos apresentam algumas vantagens comparativamente aos passivos, dado permitirem a aquisição da informação em qualquer altura do dia do ano. Contudo, os sistemas ativos requerem a geração de uma quantidade bastante grande de energia para iluminar adequadamente os alvos. Alguns exemplos são o Sistema LiDAR e o radar de abertura sintética [12].

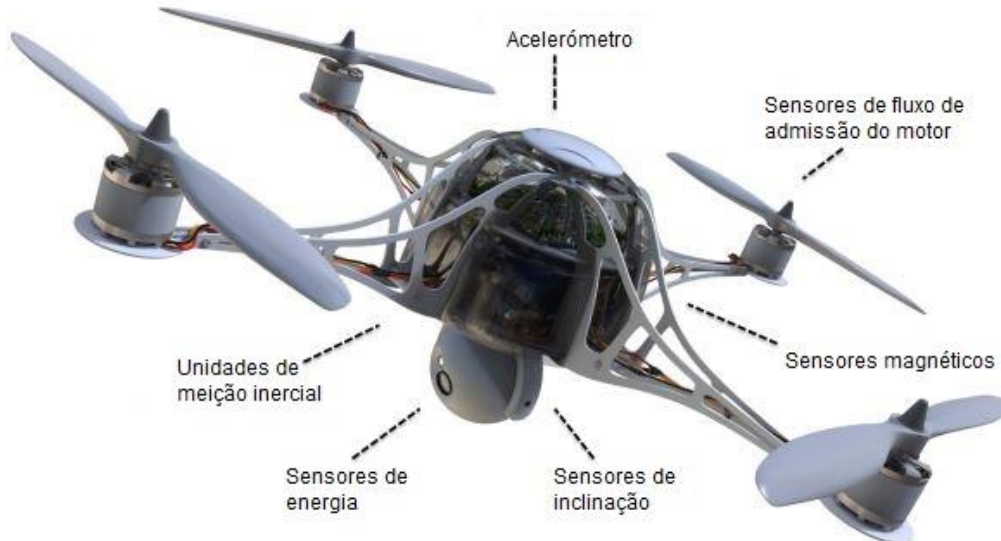


**Figura 2-15 – Radar de Abertura Sintética**  
[13]

O radar de abertura sintética permite obter imagens de alta resolução a grandes distâncias, por exemplo do espaço. O radar utiliza micro-ondas para medir as distâncias. Em comparação com o altímetro que envia os impulsos para o Nadir (ponto inferior da esfera celeste, diametralmente oposto ao Zênite), o radar de abertura sintética emite num certo ângulo em relação ao Nadir, graças a esta técnica é possível a aquisição da informação da superfície terrestre em várias perspectivas, característica que permite discriminar os objetos em formato 3D [13].

Existem outros sensores que integram os Drones (Figura 2-16) e que permitem o funcionamento autónomo em segurança e com qualidade. A tecnologia associada ao funcionamento dos drones é constituída pelos seguintes sensores:

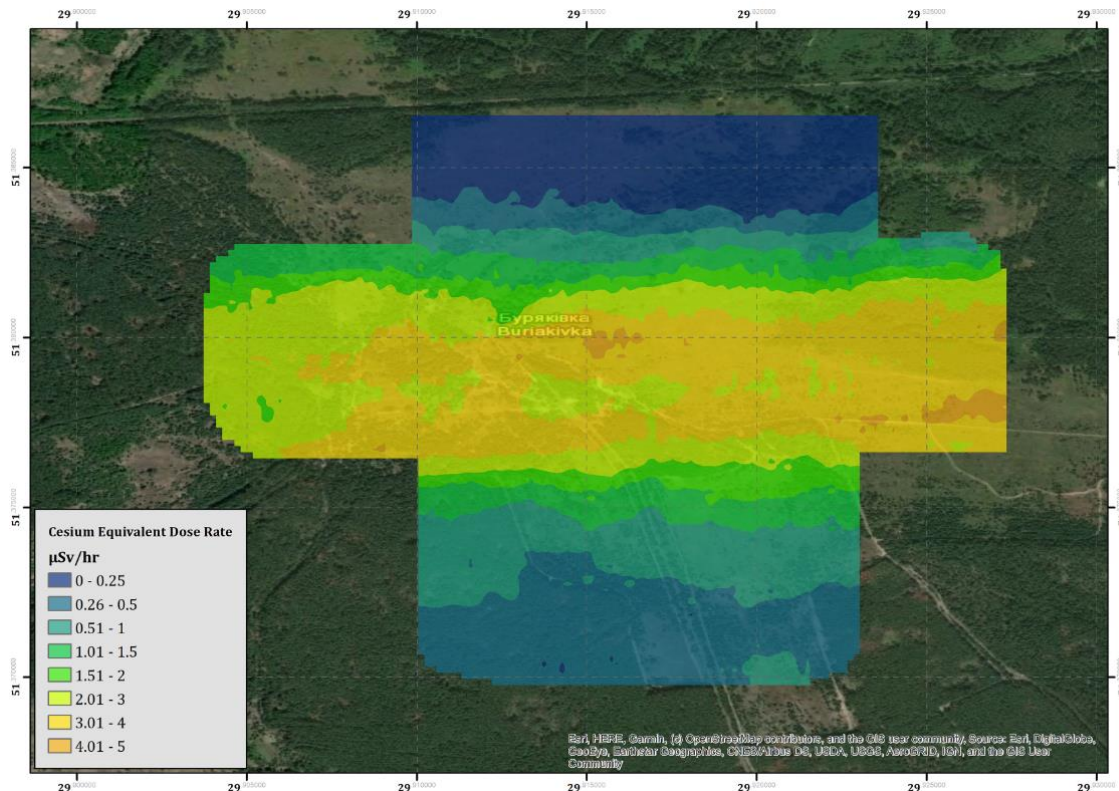
- Acelerómetro: usado para determinar a posição e orientação do Drone no ar;
- Unidades de medição inercial: combinadas com GPS são críticas para manter o rumo e direção do movimento;
- Sensores de inclinação: combinados com giroscópios e acelerómetros, fornecem informações para o sistema de controle de voo, com o objetivo de manter o Drone nivelado;
- Sensores de energia: medem o consumo e o uso da energia armazenada nas baterias inteligentes que alimentam o Drone durante o voo;
- Sensores magnéticos: nos Drones, as bússolas eletrónicas fornecem informações direcionais críticas para navegação inercial e os sistemas de orientação;
- Sensores de fluxo de admissão do motor: medição do fluxo de ar para otimizar a sustentação e estabilidade durante o voo [14].



**Figura 2-16 – Tecnologia de sensores usada em Drones modernos [14]**

Além de câmaras fotográficas, nos Drones podem ser instalados outros tipos de sensores para realizar a deteção remota, nomeadamente:

- Sensores geofísicos: são especialmente adequados para levantamentos geofísicos aéreos e permitem obter dados gravimétricos e magnéticos; este tipo de dados é principalmente utilizado na prospeção de recursos minerais, sendo necessário o uso de Drones com capacidade para transportar sensores de vários quilos e que permitam cobrir extensas áreas de terreno [3];
- Sensores químicos: estes sensores estão equipados com espectrómetros e outros dispositivos que permitem recolher, em tempo real, dados dos gases atmosféricos, temperaturas, partículas químicas, radioativas e outros contaminantes; instalados em aeronaves não tripuladas, oferecem a possibilidade de chegar a zonas de difícil acesso, tais como vulcões, áreas glaciares ou zonas de potencial perigo radioativo ou químico, sem qualquer risco para o ser humano. Foram utilizados na medição da contaminação radioativa em desastres nucleares ocorridos em Chernobyl e Fukushima. Como exemplo, apresenta-se a Figura 2-17, onde está representada a concentração de Césio nas proximidades da central nuclear da Chernobyl, cujos dados foram obtidos com recurso a UAV [15].



**Figura 2-17 – Taxa de dose equivalente de césio (CED) da área de Buryakivka [15]**

- Sensores radar e sonar: o uso de ultrassons já foi testado em Drones para melhorar a sua estabilidade em locais onde o GPS não recebe sinal. Na ausência de sinal, é necessário o uso de outros sensores que assegurem a estabilidade.

#### **2.1.4 Integração com sistemas de informação geográfica**

A versatilidade dos Drones, conjugada com as capacidades dos sensores que podem transportar a bordo para captar as características dos objetos, permite obter uma quantidade enorme de informação sobre a superfície terrestre, sendo também de notar que em algumas situações a informação obtida por estes recursos tem de ser complementada com deslocações ao terreno utilizando métodos convencionais, tais situações podem ser:

- Vegetação ao nível do solo densa
- Sobreposição das copas das arvores
- Interferência das superfícies cobertas com água
- Na proximidade de edificações altas
- Parte inferior das
  - Pontes
  - Viadutos
  - Passagens superiores

- Passagens inferiores
- Passagens agrícolas

Os dados obtidos são integrados em plataformas de informação geográfica, ferramentas informáticas que permitem visualizar, relacionar e analisar dados provenientes das diferentes fontes e em diferentes formatos, para no final dar resposta aos problemas colocados (por exemplo, o projeto de uma nova infraestrutura ferroviária ou a modernização de uma existente).

Para garantir a qualidade e integridade da informação geográfica e permitir a integração com diversas plataformas (elaboração de projetos, medições, gestão e acompanhamento dos trabalhos, etc.) é imprescindível a georreferenciação da mesma, devidamente associada a sistemas de coordenadas.

A característica principal da informação georreferenciada é ter uma localização no espaço, particularmente no espaço terrestre. Esta localização é passível de ser identificada através de coordenadas, associadas a um sistema base ou de referência [16].

A Geodesia é a disciplina que estuda a forma da Terra. Sabe-se que a Terra não é uma esfera perfeita, já que a sua própria rotação modificou a forma e causou achatamento dos polos. A Geodesia conseguiu representar a forma da Terra com uma superfície teórica, que não é uma esfera, mas sim um elipsóide [16].

Num elipsóide, o raio da Terra não é constante, mas dependente da localização que é definido pelo semieixo maior e semieixo menor. No caso da Terra o semieixo maior corresponde ao raio equatorial e o semieixo menor ao raio polar. A relação entre estas duas grandezas define o grau de achatamento ( $f$ ) do elipsóide expresso na relação (2.6) [16]:

$$f = \frac{r_1 - r_2}{r_1} \quad (2.6)$$

Em que:

$f$  – Grau de achatamento

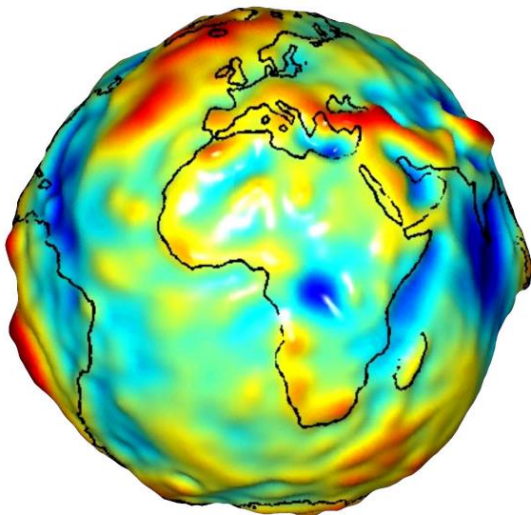
$r_1$  – Semieixo maior

$r_2$  – Semieixo menor

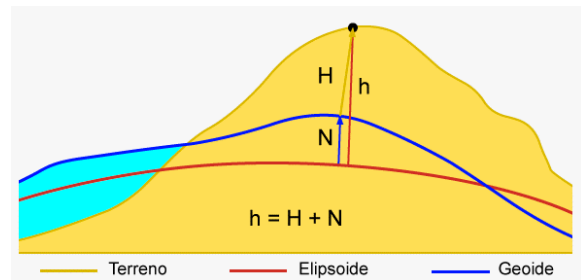
O Elipsóide é a forma geométrica que melhor se adapta à forma real da Terra. Mas existe outra superfície de referência, o Geoide, que é definido como uma superfície tridimensional, cujos pontos têm atração gravitacional constante. É a superfície gravimétrica equipotencial que mais se aproxima do nível médio do mar e da sua continuação abaixo dos continentes [16].

O Geoide é a superfície de equilíbrio das massas oceânicas submetidas à ação gravitacional e à força centrífuga causada pela rotação e translação do planeta, de modo que a direção da gravidade seja perpendicular em todos os lugares. Não é uma superfície regular como o elipsóide, e possui protuberâncias e depressões como pode ser observado na Figura 2-18. Isso acontece porque a densidade da Terra não é constante em todos os seus pontos, e este facto faz com que o Geoide possua uma superfície irregular como consequência das anomalias gravimétricas que essas variações de densidade provocam [16].

Na Figura 2-19 apresenta-se uma comparação esquemática entre as três superfícies: “superfície real da Terra”, do Geoide e do Elipsóide. A ondulação do Geoide (N) é a diferença entre a altitude Elipsoidal (h) e a altitude ortométrica (H) [17].



**Figura 2-18 – Representação gráfica do Geoide [16]**



**Figura 2-19 – As três superfícies fundamentais [17]**

O Elipsóide, devido à sua natureza mais simples, não consegue recolher toda a variabilidade do Geoide, pelo que ambas as superfícies apresentam diferenças, embora o máximo seja geralmente da ordem de  $\pm 100$  m. Essas diferenças são conhecidas como alturas do Geoide ou separação do Geoide [16].

O Elipsóide Global no sistema de coordenadas WGS84 (World Geodetic System de 1984), situa-se de tal forma, que a posição do seu centro de gravidade e do seu plano equatorial são coincidentes com os da Terra. Quando estamos na presença de sistemas de coordenadas locais, o Elipsóide local pode não cumprir as propriedades do Elipsóide Global, desta forma o Elipsóide local por si só é insuficiente, uma vez que está em falta a informação sobre o seu posicionamento em relação à superfície terrestre [16].

Deste modo, surge o conceito de Datum, que é um conjunto formado por uma superfície de referência (um Elipsóide) e um ponto. Este ponto é denominado ponto astronómico fundamental (já que são utilizados métodos astronômicos para seu cálculo), ou simplesmente

ponto fundamental e nele o Elipsóide é tangente ao Geoide. A altura do Geoide neste ponto é igual a zero. A vertical do Geoide e do Elipsóide é idêntica no ponto fundamental. Para um mesmo Elipsóide podem ser utilizados diferentes pontos fundamentais, o que dará origem a diferentes dados e diferentes coordenadas para o mesmo ponto [17].

Os Datum mais comuns em distintas zonas geográficas são os seguintes:

- Internacional e universal - WGS84 (Datum utilizado no “Google Earth” e mapas “Bing”);
- Portugal – PT-TM06/ETRS 89;
- Brasil – SAD 69/IBGE;
- Espanha - ED50;

Tendo um modelo preciso para definir a forma da Terra, é possível estabelecer um sistema para identificar cada uma das posições sobre a sua superfície atribuindo às mesmas as respetivas coordenadas.

As coordenadas derivam dos conceitos de Latitude e Longitude. Para uma representação fácil das superfícies utilizam-se coordenadas retangulares, que são valores numéricos em metros e representam a localização no espaço através das coordenadas X Y Z, para tal utilizam-se Datum de transformação.

Em Portugal, o Sistema de Referência para obter as coordenadas retangulares é PT-TM06/ETRS89 com as seguintes características:

- Elipsoide de referência: GRS80;
- Projeção cartográfica: Transversa Mercator;
- Latitude de Origem de coordenadas retangulares: 39° 40' 05.73” N;
- Longitude de Origem das coordenadas retangulares; 08° 07' 59.19” W;
- Falsa origem das coordenadas retangulares: Distância à Meridiana e à Perpendicular 0m;
- Coeficiente de redução da escala no meridiano central: 1,0;
- Modelo de geoide: GeodPT08 [17].

### **2.1.5 Aplicação dos Drones na Engenharia Civil**

O sucesso de uma obra não se resume apenas à sua conceção inicial (projeto), mas também à implementação cuidada e contínua de certos aspetos durante a execução. Uma gestão eficaz envolve a coordenação entre as várias especialidades, nomeadamente engenharia, arquitetura, meios, custos, meio ambiente, etc.

Efetivamente, após a sua conceção, será necessário proceder à respetiva construção, a que segue a fase de exploração, sendo que cada empreendimento além do seu início contempla igualmente o seu fim (Figura 2-20).



Figura 2-20 – Fases de execução dos trabalhos

O desenvolvimento de cada etapa requer medições para avaliar estados, desenvolver soluções, verificar e certificar os processos de execução e estados finais. Conjuguar a componente geométrica e de duração dos trabalhos é fundamental para uma análise eficiente [3].

Por exemplo, no caso das empreitadas de construção, explorações de pedreiras e minas em céu aberto, a gestão e direção das mesmas necessitam inevitavelmente de:

- Medição inicial para verificação de quantidades de projeto e impactes ambientais;
- Seguimento da obra para controlar processos internos, assim como os trabalhos subcontratados, detetar possíveis problemas, definir e aplicar medidas corretivas;
- Medições parciais para efeitos de autos de medição e faturação junto do cliente;
- Medição final para fecho da obra ou da exploração [3].

Até um passado recente os processos acima descritos dependiam e ainda dependem em muitos países da Topografia e Fotogrametria clássicas, com as seguintes características:

- Topografia clássica

Apresenta custos elevados, a aquisição da informação é constituída por vários processos com base nas necessidades que se pode tornar lento e disperso. Os dados gerados podem ser considerados precisos, mas em muitos casos de baixa densidade e escassos em volume de informação; quando se executam as campanhas de campo tem de se saber concretamente a informação que é necessária para ser recolhida;

- Fotogrametria clássica

Soluciona os problemas de dados discretos e homogeneidade dos mesmos, mas gera outras eventualidades como:

- Disponibilidade seletiva: as infraestruturas de voo e os seus custos elevados não permitem a recolha total da informação pretendida ou, para garantir a totalidade, os custos disparam;
- Necessidade de grandes infraestruturas para o processamento: o equipamento e

os programas informáticos são de elevado custo, assim como o pessoal dedicado em exclusividade a esta atividade [3].

A evolução da utilização de Drones na construção civil tem sido marcada por avanços tecnológicos significativos que impactam positivamente vários aspetos desta atividade. Ao longo do tempo, observou-se uma ampla gama de aplicações e melhorias nas capacidades dos Drones, contribuindo para a eficiência e a segurança no setor.

Algumas das áreas em que os Drones têm impactado positivamente no setor são:

- Topografia

Os drones equipados com câmaras de alta resolução e sensores possibilitam a realização de levantamentos topográficos de maneira rápida e precisa, sendo particularmente úteis, em regra geral, para locais com acessos difíceis e/ou condicionados. Permitem a obtenção de informação minuciosa e precisa do estado das estruturas.

- Inspeção visual de estruturas

Em obras de arte (pontes, passagens superiores, passagens inferiores e viadutos), torres, edifícios e turbinas eólicas, por exemplo a sua aplicação, reduz significativamente os custos e os riscos de execução neste tipo de trabalho, quando comparado com o recurso a meios convencionais, pois regra geral, tratam de locais com acessos difíceis e/ou condicionados. Permitem a obtenção de informação minuciosa e precisa do estado das estruturas.

- Monitorização das Obras

Com objetivo de observar o progresso dos trabalhos e otimizar a utilização de recursos. As imagens aéreas e vídeos capturados pelas câmaras digitais instaladas nos Drones oferecem uma visão abrangente dos recantos da obra, facilitando a tomada de decisões com um contributo positivo na gestão das obras.

- Gestão de depósitos de materiais e logística

Em tempo real permitem uma gestão eficiente, evitando situações de escassez ou excesso de materiais na obra.

- Monitorização da segurança

Em fase de obra, assegurando a vigilância e identificando possíveis riscos, garantindo a conformidade das normas de segurança; possibilitam ainda apoio em operações de busca e resgate em emergências.

- Documentação e comunicação.

Com a captura visual do avanço da obra, por meio de registos fotográficos e vídeos é possível a obtenção de informação em tempo real e precisa, permitindo o seu acesso a todos os intervenientes no processo (Dono de Obra, Entidade Executante e Fiscalização), desde que estabelecidos os devidos canais de circulação da informação. Permite ainda a obtenção de informação de base para a produção de relatórios e apresentações para o cliente;

- Avaliação do impacto ambiental

Com o envolvimento em projetos de grande dimensão e complexidade constituem uma ótima e eficaz ferramenta para efeitos de monitorização nesta área [3].

### 2.1.6 Procedimentos de trabalho com Drones

Descrevem-se em seguida os procedimentos de trabalho utilizando um drone semelhante ao da Figura 2-21 equipado com um sensor RTK.



Figura 2-21 – Drone e estação GNSS de referência móvel RTK 2 [18]

O módulo RTK integrado diretamente no drone, fornece dados de posicionamento em tempo real, com precisão centimétrica, para fornecer maior precisão absoluta nos metadados das imagens recolhidas. Logo abaixo do recetor RTK está um modulo GNSS redundante, que permite manter a estabilidade de voo em locais com pouco sinal GPS [18].

A receção das correções centimétricas é possível a partir das redes de estações de apoio fixas nacionais ReNEP [19] ou HxGN SmartNet [20] em formato NTRIP através de uma ligação internet, conectando um modem USB no terminal de controle remoto do Drone, o qual pode pertencer a qualquer operadora nacional. Se não houver cobertura GSM, pode utilizar-se a estação de referência própria RTK - GNSS (Figura 2-21) que comunica com o Drone através de uma ligação WI-FI [18].

### 2.1.6.1 Verificações pré-voos

Para que o voo atinja os objetivos estabelecidos é necessário realizar as tarefas que se descrevem a seguir:

- Verificação do “estado de saúde do piloto remoto”

O piloto deve estar sem sinais de fadiga, em alerta e confiante para realizar a missão.

- Verificação do estado de tempo

Um bom estado de tempo para realizar um voo tem de corresponder a:

- Probabilidade de precipitação <10%;
- Velocidade do vento inferior a 24 km/h ao nível do solo;
- 5 km de visibilidade a partir do local de lançamento do Drone;
- A distância mínima do Drone e entre as nuvens não deve ser inferior a:
  - 150m abaixo;
  - 600m afastada horizontalmente.

- Verificação do estado das baterias

- Verificação do cartão de memória inserido no Drone.

Garantir que a mesma tem capacidade suficiente e não necessita de formatação [21].

- Assegurar as condições de utilização do espaço aéreo

Verificar as condições de aceder ao espaço aéreo, sendo que tal depende do local onde se vai operar.

Em Portugal, em todo território nacional, é necessário solicitar autorizações de voo. Para solicitar a autorização de voo é necessário ser detentor de um certificado de Piloto Remoto na categoria A1-A3 ou A2, possuir um seguro obrigatório e registo no portal da ANAC.

O pedido de voo tem de ser efetuado com 14 dias de antecedência.

- Inspeccionar o drone:

- Confirmar que número de registo da ANAC está bem visível no exterior do equipamento;
- Verificar o estado físico do Drone;
- Verificar os motores, as hélices, o módulo RTK e o estabilizador da câmara fotográfica;
- Limpar as lentes e os sensores de impacto.

- No local de voo verificar se a segurança para o realizar é garantida.

- Verificar e identificar os possíveis obstáculos acima do nível do solo;

- Definir um limite de segurança no local de partida/aterragem do Drone;
- Efetuar todas as calibrações que o equipamento necessitar;
- Preparar o local da obra para a execução do levantamento fotogramétrico.

Para levantamentos fotogramétricos equivalentes ao levantamento topográfico utiliza-se o aplicativo 2D Fotogramétrico (2D Photogrammetry), incorporado no programa GS RTK existente no terminal de controle remoto. Se o corredor for estreito, recomenda-se a utilização da missão linear (Linear Flight Mission), cujo resultado é idêntico e o rendimento é maior.

Antes de se iniciar o trabalho é necessário distribuir os pontos de controle terrestres que vão definir e garantir a qualidade do trabalho executado. Os pontos de controle terrestre (PCT) (Figura 2-22) são pontos bem identificáveis com as coordenadas locais ou geográficas conhecidas.



**Figura 2-22 – Exemplo de ponto de controle terrestre**

Aspeto muito importante para o sucesso da tarefa é o da distribuição dos referidos PCT, pois uma distribuição incorreta ou deficitária pode conduzir a resultados imprecisos e / ou distorcidos.

Uma forma fácil de definir a distribuição destes pontos no local da obra pode assemelhar-se ao comportamento de uma toalha em cima de uma mesa e os pontos de controle como pesos para a sua fixação. Se os apoios tiverem uma má distribuição com falta de uniformidade e equidistância, o vento pode induzir movimento na toalha. O mesmo acontece com o modelo gerado, se a distribuição dos PCT não for coerente e uniforme o resultado será distorcido e deformado.

Para quantificar o número adequado de PCT necessários é preciso ter em conta a altura do voo e a variação altimétrica do terreno. Relativamente à sua distribuição, deverá ter-se em consideração o seguinte (Figura 2-23):

- O espaçamento entre os PCT no solo deve ser aproximadamente o dobro da altura de voo. Por exemplo se altura de voo for 100m, a rede de pontos tem de garantir uma grelha com o espaçamento de 200m;

- Garantir colocação de PCT nos pontos mais altos e mais baixos da obra se tal for possível;
- Os PCT determinam o limite de precisão do levantamento. Os dados que apresentam valores de qualidade fora dos limites definidos pelos PCT são identificados e excluídos do processamento;
- Assegurar um mínimo de 5 pontos.

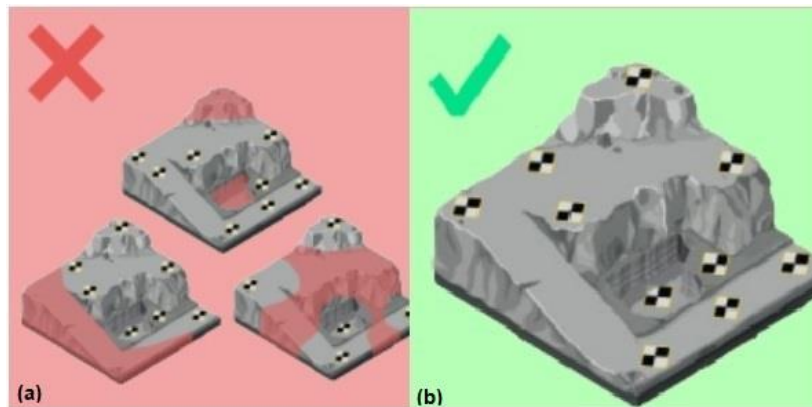


Figura 2-23 – Exemplo de uma incorreta distribuição (a) e correta (b) distribuição de PCT [21]

Além dos pontos de controle é necessário considerar pontos de verificação, que são pontos notáveis identificáveis com coordenadas conhecidas, que servem para verificar a qualidade dos resultados obtidos, depois do processamento das imagens tiradas com o Drone.

#### 2.1.6.2 Planificação da missão do tipo 2D fotogramétrica

Tendo em consideração que quando o drone executa a missão, a mesma atua em modo autónomo, sem intervenção humana, para se garantirem resultados de qualidade é necessário proceder a uma vasta série de configurações prévias, tanto ao nível do drone, como das câmaras nele instaladas, como se exemplifica respetivamente na Tabela 2-1 e Tabela 2-2.

**Tabela 2-1– Configurações do Drone**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Observações</b>
Altura de Voo	80-120m	A altura de voo vai determinar a rapidez de conclusão de trabalho e distribuição dos pontos de controle
Velocidade de voo	Configurar para a velocidade máxima disponível	Aumentando a velocidade reduzimos o tempo da missão. Se estamos na condição de pouca luz convém reduzir a velocidade e configurar o obturador da câmara para aproximadamente 640
Modo de disparo	Disparo por distância	Deste modo mesmo que haja perturbação do voo por causa do vento permite a aquisição equidistante das imagens que é essencial na condição de sobreposição das mesmas
Final do Trabalho	Voltar para casa	O objetivo principal em qualquer missão é não perder o drone. Depois de concluir o trabalho ou caso ocorra uma perda de ligação entre o drone e o terminal de controle remoto, o equipamento retorna em modo automático ao local de lançamento.
Otimização da altura	Desligado	No final da missão, se deixar esta opção ligada será realizada uma fiada de fotografias oblíquas que são utilizadas para otimização da altura em alguns softwares. Só a ligar tendo a certeza de que o programa informático de processamento requer estas imagens.
Altitude relativa(m)	0m	Se o local de lançamento do drone apresentar uma elevação altimétrica diferente em relação a zona do levantamento, para garantir as alturas de voo indicadas deve introduzir-se o desnível relativo +/-.

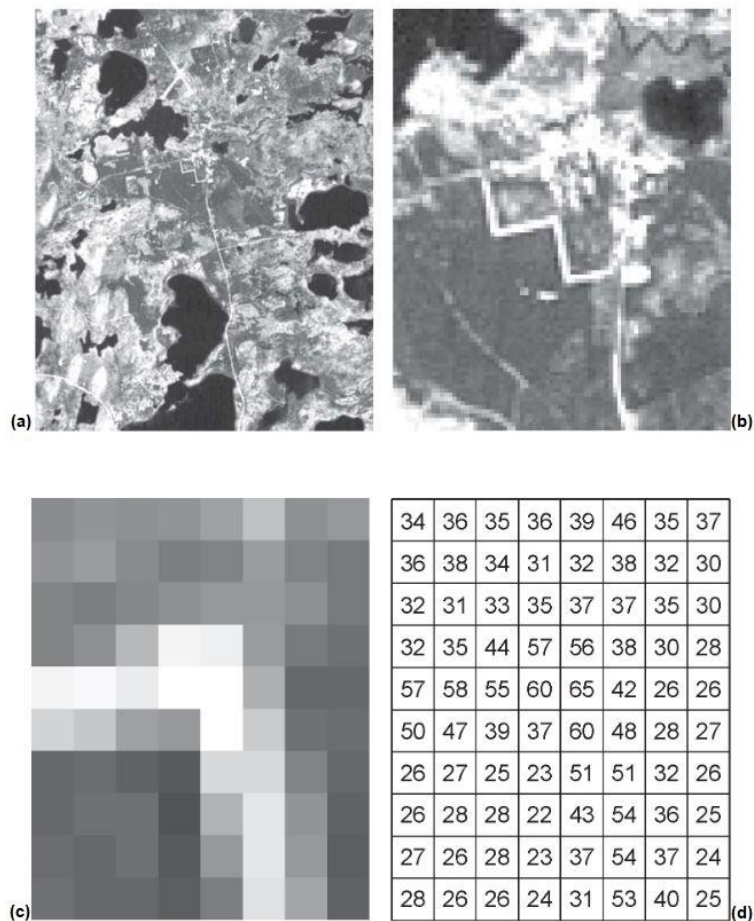
**Tabela 2-2– Configurações para a câmara fotográfica do Drone**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Observações</b>
Rácio da imagem	3:2	O rácio 3:2 permite utilizar o sensor na totalidade, a atribuir outro valor traduz-se em eliminação de informação
Equilíbrio da claridade	Assumir as condições do dia (nublado, céu limpo, nublado com névoa)	Ajusta o sensor para captar as reflexões com base na claridade. Definir um incorreto equilíbrio da claridade resulta em texturas inadequadas e/ou coloração imprecisa do modelo gerado após o processamento
Modo medição	Média	A medição média utiliza informações da luz e cria uma média para exposição final
Ângulo do suporte articulado da câmara	-90°	As medições de qualidade são feitas com o sensor virado para baixo (nadir). Um ângulo de -45° vai permitir tirar imagens oblíquas. Ângulo 0° a eixo axial da câmara fica na horizontal
Prioridade de obturador	1000	Permite evitar desfocagem provocada pelo movimento. Esta configuração informa a câmara que velocidade deve ser usada para o obturador. O valor 1000 é ótimo para dias soalheiros. Em condições de pouca luz, num dia nublado, reduzir a velocidade do drone e configurar a velocidade do obturador para 800
Correção da distorção	Desativar	Deixar a correção da distorção desativada permite que o software de fotogrametria não distorça as imagens no processamento. Normalmente o algoritmo do software executa esta operação melhor. Para outros trabalhos cujo objetivo não é o levantamento deixar a configuração ativa
Taxa de sobreposição horizontal e vertical das imagens	75%	As vezes pode surgir imagens de má qualidade, com esta taxa de sobreposição permite garantir a qualidade do trabalho e continuidade do modelo. Aumentando a taxa de sobreposição, aumenta o tempo da missão

### 2.1.7 Processamento digital de imagens obtidas com Drones

Durante o processamento, a imagem digital é subdividida em áreas quadradas de igual dimensão, que são denominados pixels, e representam o brilho com um código numérico. A intensidade de cada pixel corresponde ao brilho alcançado, medido eletronicamente sobre a superfície terrestre [10].

Como exemplo, na Figura 2-24 (a) é representada uma imagem com um total de 500 linhas e 400 colunas de pixels. Com esta resolução, é impossível identificar os pixels; os mesmos começam a ser observáveis nas imagens (b), com dimensão de 100 linhas por 80 colunas, e (c), com dimensão de 10 linhas e 8 colunas. Na imagem (d) é representada a codificação da imagem com o “valor do brilho” [10].

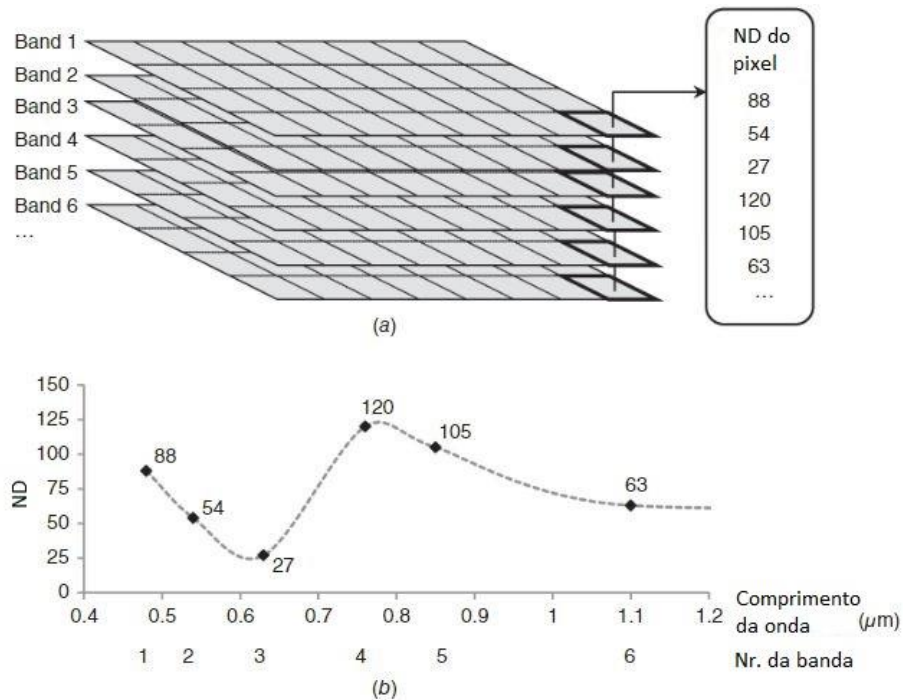


**Figura 2-24 – Características básicas da imagem digital mono-banda [10]**

A imagem adquirida de forma convencional ou digital, pode conter informação só de uma banda ou várias bandas espectrais. A imagem da Figura 2-24 foi adquirida recorrendo só a uma banda espectral, integrando toda energia captada em uma faixa de comprimento de onda (é semelhante à fotografia convencional a preto e branco).

No caso das imagens a cores ou multiespectrais, a recolha dos dados é feita simultaneamente em várias bandas espectrais. No caso da fotografia a cores com três conjuntos separados de

detetores, cada um a registrar a radiação em diferentes comprimentos de onda. Cada pixel da imagem contém vários códigos digitais por banda respectiva. Exemplifica-se na Figura 2-25: um pixel tem vários números digitais, 88 na primeira banda que poderá representar o azul, na segunda banda o 54 pode representar o verde, 27 o vermelho, etc., e tudo isto associado a uma fração da área terrestre representada na imagem.



**Figura 2-25 – Características básicas da imagem digital multibanda [10]**

Normalmente, os números digitais dos pixels que constituem uma imagem adquirem intervalos numéricos tais como: de 0 a 255, 0 a 511, 0 a 1023, 0 a 2047, 0 a 4095 ou superiores. Estes intervalos representam o conjunto de números inteiros usando escalas de 8-, 9-, 10-, 11- e 12- de codificação binária. O termo técnico atribuído ao número de bits usados na armazenagem dos dados da imagem é nível de quantização (ou profundidade da cor, quando usado para descrever o número de bits usados para exibir uma imagem a cores) [10].

O objetivo do processamento é obter uma imagem orto foto de alta resolução e o modelo digital do terreno. Antes de começar o processamento é necessário associar os PCT fisicamente a cada imagem onde são visíveis. Esta ação irá atribuir as coordenadas tridimensionais ao pixel que representa o centro do PCT (Figura 2-26). Esta operação deve ser executada na totalidade das imagens onde é visível, o número das imagens a associar depende da taxa de sobreposição das mesmas, como exemplo, com uma taxa de 80% a quantidade pode rondar de 8 a 9 unidades.



**Figura 2-26 – Associação de coordenadas do Ponto de Controle Terrestre visível na imagem (iTwin Capture Modeler – Bentley)**

O exemplo apresentado na Figura 2-26 provém do software iTwin Capture Modeler da Bentley. Regra geral, num computador pessoal é possível um processamento de 30 gigapixels por dia. É compatível com uma ampla variedade de câmaras fotográficas (até é possível criar modelos 3D com imagens obtidas com um telemóvel). Permite criar imagens e modelos 3D (Figura 2-27 e Figura 2-28) de alta resolução, fornece relatórios que permite verificar e comprovar a qualidade da aquisição como se pode observar nos anexos II e III.



**Figura 2-27 – Exemplo de orto-foto, com resolução do píxel de 0,019m**



**Figura 2-28 – Exemplo de modelo 3D**

Os elementos obtidos permitem a integração com outras plataformas como a Autodesk e Sistemas Geográficos de Informação. Existem outras modalidades de processamento e cálculo on-line, sem necessidade de instalar qualquer programa no computador ou ter um computador com potencial adequado para o efeito.

Como exemplo é o portal on-line da “Proppeler Aero” que realiza todo o trabalho de cálculo e processamento, com funcionalidade on-line de edição e medição suficientes para dar uma resposta adequada às necessidades de um técnico de engenharia civil. Produz a totalidade de elementos, que é possível criar a partir de imagens obtidas com o Drone:

- Modelo digital do terreno (limpo ou não) em formato DXF como faces 3D ou curvas de nível 3D;
- Orto fotos em formato GeoTIFF ou JPEG de alta resolução georreferenciadas no sistema de coordenadas global ou local;
- Nuvens de pontos com diferentes resoluções, colorida com escala RGB obtida das imagens;
- GeoTIFF – DSM.

Com base nestes recursos é assim possível:

- A realização, de forma bastante simples, de medições comparativas de terraplenagens entre o projeto e os elementos medidos no terreno, sendo igualmente possível comparar a realidade virtual com o projeto em vários formatos (mais usuais: DWG, DXF e IFC);
- A elaboração de relatórios de medição ou de comparação entre o projeto e realidade (Figura 2-29) para apresentar como comprovativos de medição e na elaboração dos pedidos de esclarecimento (ou em processo de erros e omissões) perante incompatibilidades detetadas;
- A criação de “Time Laps” e vídeos de apresentação, sendo compatíveis com o BIM uma vez que o administrador da obra no portal pode convidar os colegas que entenda necessário para consultar, medir e editar a informação.

É, portanto, uma ferramenta de comunicação entre várias especialidades, perfeita para uma obra de infraestruturas lineares e não só.

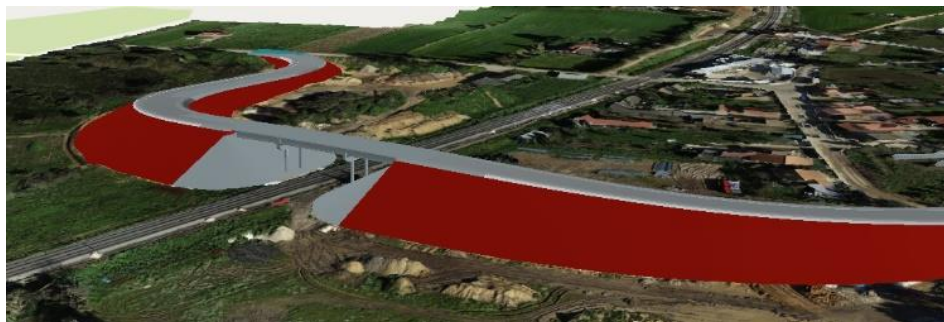


Figura 2-29 – Exemplo de comparação modelos 3D da obra com a realidade virtual

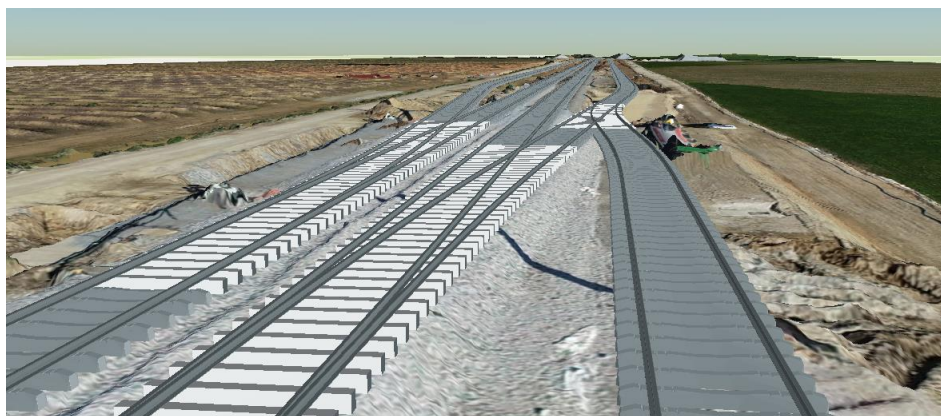


Figura 2-30 – Exemplo de comparação modelos 3D da obra com a realidade virtual

### 2.1.8 Outras aplicações dos Drones

Atualmente, os Drones podem ser considerados como robôs não antropomórficos com uma imensa autonomia de voo e uma ampla gama de possibilidades de aplicação, tendo em consideração a facilidade de instalação de sensores de vários tipos podem destacar-se os seguintes setores com enorme uso da referida tecnologia:

- Seguimento e monitorização do tráfego rodoviário para efeitos de segurança e contagens;
- Controlo de qualidade do ar;
- Cartografia;
- Prospecções e exploração de recursos minerais;
- Hidrologia;
- Agricultura;
- Seguimento e monitorização fitossanitário de massas florestais;
- Gestão do património e herança cultural;
- Segurança nacional e controlo de fronteiras;
- Manutenção de linhas elétricas de média e alta tensão;
- Termografia aérea;
- Aplicações à comunicação social, jornalismo e cinematografia;
- Inspeção de instalações eólicas de produção de energia;
- Aplicações em resgates, investigação policial, missões de socorro e busca;
- Transportes.

## 2.2 “Laser Scanning” LiDAR

Com o presente subcapítulo pretende-se realizar uma apresentação sumária da tecnologia de varrimento laser terrestre e aéreo 3D com recurso à tecnologia LiDAR, aplicável a diversas áreas (Figura 2-31), e adaptável a diferentes meios de acesso, nomeadamente helitransportado (Figura 2-32), no apoio à construção de infraestruturas.



Figura 2-31 – Áreas de aplicação do sistema LiDAR



Figura 2-32 – Sistema LiDAR - Integração num helicóptero tripulado [22]

As infraestruturas aéreas, ferroviárias e portuárias precisam urgentemente de expansão e modernização e há uma quantidade impressionante de projetos de serviços públicos e ambientais que é preciso concretizar. Para a realização destes projetos é necessária a captação de uma quantidade enorme de informação, de forma correta e com qualidade. Felizmente a tecnologia de varrimento laser permite realizar tal tarefa de uma forma célere e com alta qualidade [20].

As soluções de varrimento laser 3D criam uma vantagem competitiva para as empresas de construção e exploração das infraestruturas, possibilitando a captura de geometrias

complexas com a maior produtividade, seja qual for o ambiente. Com capacidade de capturar dados abrangentes por imagens 360° e milhões de pontos de medição de alta precisão, cria-se rapidamente uma versão digital de qualquer local. Além de ter possibilidade de visitar o local da obra no meio da realidade virtual, também permite integrar esta informação na tecnologia BIM [20].

O primórdio das medições tem origem na determinação de distância entre dois pontos contando os passos, a seguir foi a criação de uma bitola, depois surgiram os teodolitos.

Nos anos 70 de século XX foi possível medir as distâncias com recurso a electro distanciómetros (Figura 2-33 e Figura 2-34) que revolucionaram toda a indústria de medição. As estações totais são a versão moderna desta tecnologia. Nas últimas duas décadas, o sistema global de posicionamento veio revolucionar o posicionamento tridimensional na superfície terrestre. Como a ciência e a tecnologia estão em constante evolução, os meios de medição tornam-se cada vez mais sofisticados e o Sistema LiDAR é a prova disto.



Figura 2-33 – Leica ScanStation P50 - Scanner a laser terrestre 3D de longo alcance [20]



Figura 2-34 – Leica Pegasus One [20]

### 2.2.1 Descrição da tecnologia LiDAR (Light Detection And Ranging)

LiDAR é uma técnica de medição não invasiva, possível com a análise do impulso de luz laser refletida pelas superfícies. “Laser” também é um acrónimo – Light Amplification by the Simulated Emission of Radiation. A constante evolução da tecnologia permitiu a criação de

equipamentos que vieram substituir quase na totalidade os métodos convencionais de levantamento de informação para a construção e não só. Esta tecnologia permite registrar as coordenadas tridimensionais de numerosos pontos na superfície de um objeto num intervalo curto de tempo [20].

O efeito de digitalização é alcançado usando um a dois espelhos que permitem alterações no ângulo de deflexão em pequenos incrementos. O registo de alta precisão dos ajustes angulares é importante, dado que os ângulos, juntamente com as medições de distância, determinam a posição do ponto refletido.

A respetiva tecnologia para produzir as ditas “Points Clouds” baseia-se nos seguintes princípios de medição:

- Tempo de trajeto (ToF) e fase;
- Triangulação (passiva e ativa).

### 2.2.1.1 Tempo de trajeto e fase

Os equipamentos de varrimento laser que realizam a medição com recurso ao tempo de trajeto baseiam-se no princípio de tempo de percurso efetuado pelo impulso laser entre o objeto e o emissor. Os chamados scanners "time-of-flight" ou de "medição de distância" têm um díodo laser que envia um feixe laser impelido para o objeto. O impulso é refletido difusamente pela superfície e parte da luz retorna ao recetor.

O tempo que a luz precisa para viajar do díodo laser até à superfície do objeto e voltar é medido, e a distância até ao objeto é calculada utilizando a velocidade da luz. A interação da luz no trajeto percorrido, afeta a precisão da medição neste método.

A distância máxima de medição para os “scanners laser” baseados em impulso atinge cerca de 6 km. A distância medida depende do intervalo do tempo entre os sinais emitidos e recebidos, que se representa pela expressão (2.7) [23]:

$$r = \frac{c\Delta t}{2} \quad (2.7)$$

Em que:

- $r$  – distância medida (m)
- $c$  – velocidade de propagação do impulso laser (velocidade da luz) cujo valor é  $3 \times 10^8 m/s$
- $\Delta t$  – Intervalo de tempo do percurso (s)

A precisão da medição depende do tempo de voo da luz. Para obter uma precisão de um

milímetro na distância, o tempo de percurso da luz deve ser determinado com uma precisão de 6.67 pico segundos. A incerteza da medição da distância ( $\sigma_r$ ) é dada pela expressão (2.8):

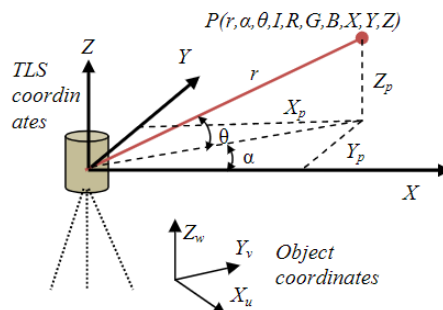
$$\sigma_r = \frac{cT_r}{c\sqrt{SNR}} \quad (2.8)$$

Em que:

- $T_r$  – Tempo de ascensão do impulso laser (s)
- $c$  – velocidade de propagação do impulso laser (velocidade da luz) cujo valor é  $3 \times 10^8 m/s$
- $SNR$  – Taxa de ruído do sinal (SNR=100)

O método de fase utiliza a diferença de fase entre os sinais refletidos e recebidos. O tempo de voo do impulso laser do sensor para o objeto e vice-versa resulta diretamente em uma diferença de fase entre a luz laser transmitida e recebida. A diferença de fase é proporcional ao alcance e à frequência de modulação do laser. Para obter a distância do objeto, o número de comprimentos de onda completos e o restante dos comprimentos de onda devem ser definidos. Não é possível obter a distância do objeto a partir de um método simples de medição AMCW (onda contínua modulada em amplitude). Para contornar a inconveniência de um intervalo de ambiguidade de alcance, pode-se usar formas de onda de múltiplas frequências. A precisão do método de variação de mudança de fase afeta a frequência de modulação, a intensidade do sinal e a condição do ar de varredura. A distância máxima de medição é de cerca de 600m em scanners a laser de mudança de fase [23].

O scanner executa o registo dos intervalos ( $r$ ), intensidade ( $I$ ) e ângulos de orientação ( $\sigma, \theta$ ) assim como a cor do ponto detetado remotamente (**R**ed, **G**reen, **B**lue) com a câmara fotográfica integrada no mesmo. Como resultado são geradas as coordenadas 3D ( $X, Y, Z$ ) como podemos verificar na Figura 2-35.



**Figura 2-35 – Medições efetuadas por equipamento laser (adaptado de [23])**

A divergência do feixe e o passo da resolução do ângulo são as duas propriedades básicas para definir a resolução espacial do objeto medido. Os valores incompatíveis destas duas grandezas induzem a incerteza na posição do ponto medido. O equipamento laser que usa o

método de diferença de fase possuem uma divergência de feixe baixa, propriedade que permite efetuar varrimentos de alta densidade nos scanners baseados no impulso. Este tipo de equipamento não permite efetuar o registo de superfícies com uma morfologia complicada. São de alto rendimento e baixo custo de aquisição. São indicados para a captação de realidade virtual na construção.

### 2.2.1.2 Triangulação

Outra forma de aquisição das nuvens de pontos 3D é designada triangulação. A triangulação é um método para determinar a distância entre dois pontos. Funciona usando duas ou mais medições tiradas de diferentes posições. Ao medir o ângulo e as distâncias entre os pontos, é possível calcular as coordenadas dos mesmos usando relações trigonométricas confiáveis e verificadas ao longo do tempo. Este método é fundamental em setores como a topografia, navegação e astronomia. Muitos equipamentos de aquisição de nuvens de pontos via laser baseiam-se nos princípios de triangulação para examinar a relação geométrica entre o objeto medido e o scanner. Um equipamento constituído por duas câmaras é considerado triangulação passiva; já se dotado com um emissor laser, passa a ser triangulação ativa.

A triangulação passiva, designada como a fotogrametria de curto alcance, é usada para medições de elevado pormenor. Imita a visão humana e usa um par de câmaras e campos de visão sobrepostos para calcular a distância de um objeto ao scanner. Cada câmara tira uma foto enquanto um objeto está à vista. Conhecendo a distância entre as câmaras e o ângulo de visão, o valor z do objeto pode ser calculado usando triangulação como podemos verificar na Figura 2-36. Este método tem um alcance limitado a 10 m.

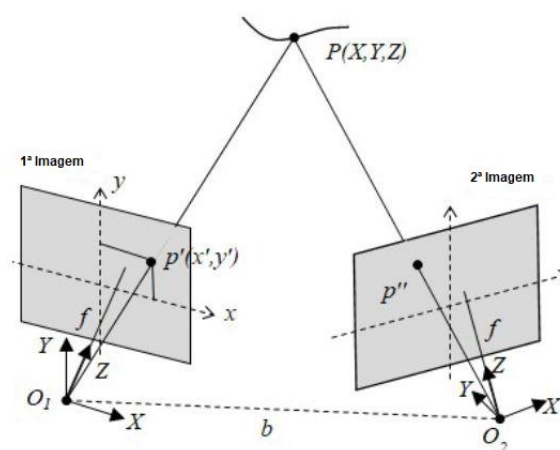


Figura 2-36 – Triangulação passiva  
(adaptado de [23])

O equipamento laser cujo método de medição se baseia na triangulação usa impulso laser e câmaras CCD para sondar a superfície. Um impulso laser num ângulo definido e alterado de forma incremental é enviado para a superfície e a câmara CCD, cuja localização foi definida

numa posição conhecida e consegue detetar o impulso laser na superfície em estudo. Significa que o alcance entre o objeto e o scanner a laser dentro do alcance ( $r$ ) é baseado na triangulação ótica (Figura 2-37) [23].

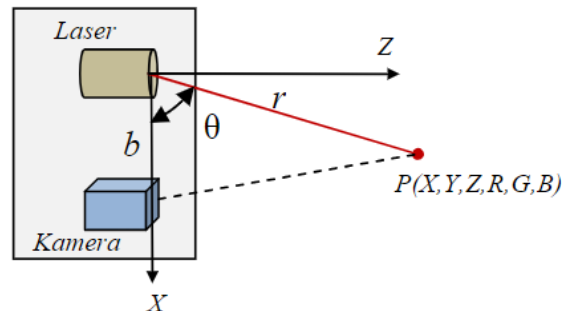


Figura 2-37 – Princípio do scanner de triangulação ativa [23]

A distância entre o sensor ótico e o emissor laser é conhecida ( $b$ ). O ângulo ( $\theta$ ) do canto do emissor de laser e as coordenadas da imagem da mancha laser também são conhecidas. Com recurso a estas três variáveis conhecidas é calculada a posição do ponto laser emitido que é o vértice do triângulo. O alcance máximo depende da linha base ( $b$ ). A precisão da informação é bastante elevada. É aconselhado na digitalização de objetos de arte e cultura, instalações industriais e objetos cuja geometria é complicada.

## 2.2.2 Metodologia de captação de nuvens de pontos estática

De uma forma sucinta a captação de nuvens de pontos estática é um processo complexo cujo objetivo é a obtenção de nuvens de pontos de alta resolução e elevado rigor geométrico, que por outros métodos que a tecnologia fornece não é possível alcançar.

Em seguida apresenta-se a metodologia de trabalhos para obtenção das nuvens de pontos com equipamento estático:

### 1. Planeamento do trabalho:

- Avaliar a extensão do projeto, identificação de áreas específicas a serem registadas e a definição do nível de detalhe necessário em locais específicos;
- Identificação de requisitos característicos, como a precisão pretendida, texturização (se as nuvens podem ser monocromáticas ou com as escalas RGB reais), possíveis análises subsequentes (modelação 3D, determinação de deformações, “as build”, cálculo de volumes e áreas, etc.)
- Avaliação e determinação das condições ambientais: considerar fatores como a iluminação, presença de poeira e condições climatéricas, no caso dos trabalhos exteriores;

- Identificação dos obstáculos que possam obstruir a linha de visão do equipamento;
- Criar um mapa ou plano para a distribuição dos estacionamentos de modo a garantir o máximo de cobertura do local em estudo;
- Escolha do equipamento adequado com base nos resultados pretendidos (rigor milimétrico ou centimétrico, texturização da nuvem com escala RGB real ou nuvens monocromáticas, resolução da nuvem);
- Distribuição de pontos de controlo com as coordenadas XYZ conhecidas, no caso de haver necessidade de efetuar a georreferenciação da nuvem de pontos final;
- Garantir que o equipamento disponha de unidades de alimentação com energia suficientes para garantir o máximo rendimento diário na utilização do mesmo;
- Realizar calibrações de fábrica recomendadas e efetuar um scaneamento de teste para verificação do equipamento.

## 2. Captação de nuvens de pontos:

- No local de trabalho, garantir que o scanner está firmemente posicionado para evitar possíveis movimentos no ato de varrimento laser;
- Ajustar a altura e o ângulo do equipamento para otimizar a cobertura da área de interesse;
- Configurar parâmetros como a resolução angular, densidade de pontos e velocidades de varrimento (altas velocidades aplicam-se para áreas amplas onde o rigor pretendido é na ordem de 1 centímetro, scaneamento de baixa velocidade para alta precisão e detalhes finos);
- Ajuste da sensibilidade do equipamento devido ao tipo de materiais e superfícies (como exemplo superfícies pouco reflexivas, transparentes ou espelhos);
- Sempre que puder, garantir a monitorização de aquisição em tempo real com recurso ao computador ou tablet;
- Garantir a continuidade dos scaneamentos, evitar interrupções de longa duração;
- No caso de as nuvens de pontos georreferenciadas, garantir a existência de pelo menos 3 marcas de referência com as coordenadas XYZ conhecidas;
- Identificar e eliminar possíveis fontes de criação de ruído nas nuvens de pontos. Entende-se por ruído em “laser scanning” as variações ou imperfeições nos dados capturados. Esses ruídos podem distorcer a precisão e qualidade dos modelos tridimensionais ou das informações coletadas, provocadas por: erros de medição, superfícies transparentes ou com baixa resposta espectral e objetos em movimento.

### 3. Registo das nuvens de pontos:

- Para fazer o registo e concatenação de nuvens pontos, priorizar a utilização de software da marca do equipamento (FARO – Faro Scene, Leica Syclyne Register 360); se tal não for possível uma boa solução é o ReCap da AutoDesk, Trimble Bussines Center, ISPOL, etc.;
- No registo das nuvens de pontos o mais usual é aplicar o método de sobreposição de pontos com características comuns (para obter bons resultados temos de garantir uma sobreposição de pelo menos 30%); onde tal não for possível utilizar algoritmos de otimização como ICP (Iterative Closest Point);
- Verificar o desvio das nuvens de pontos e realizar ajustes se for necessário;
- Comparar a nuvem de pontos registada com medições de referência para assegurar a conformidade da mesma;
- Efetuar a georreferenciação da nuvem de pontos.

### 4. Pós – Processamento:

- Remoção do ruído: consiste em remoção automática ou manual do ruído e dos pontos irrelevantes;
- Optar entre a classificação manual dos pontos ou utilização de algoritmos que se baseiam nas escalas RGB dos pontos, ou por outros critérios que podem ser definidos pelo utilizador (níveis de cotas, inclinações de superfícies, exposição, etc.);
- Exportação das nuvens de pontos nos formatos adequados para a aplicação final, considerando compatibilidades com outros softwares e sistemas;
- Criação de relatórios de qualidades e documentos que incluem todos os parâmetros de configuração, resultados e análises efetuados pelo software de processamento de nuvens de pontos.

#### **2.2.3 Metodologia de captação de nuvens de pontos dinâmico (terrestre e aéreo)**

Atualmente, esta tecnologia é conhecida como “Mobile Mapping” que traduzido para português significa mapeamento móvel que, no sentido mais amplo, é a forma como se realiza a captura de dados espaciais por um ou mais sensores móveis, a fim de criar uma representação digital de um objeto ou de uma área. Esta captura pode envolver vários sensores como câmaras de infravermelhos (térmicas) e radar de penetração no solo. Os sensores podem ser montados numa plataforma móvel associada a:

- Seres humanos;
- Moto-quatros;

- Automóveis;
- Dresines (Veículos ferroviários ligeiros);
- Aeronaves tripuladas;
- Aeronaves não tripuladas, vulgo “drones”;
- Navios (pode ser combinada a captação da informação com sondas de mapeamento hidrográfico que são as sondas de multi-feixe);

No entanto, o termo “mobile mapping” é mais utilizado para descrever os sistemas que incluem um scanner a laser e uma câmara ótica. Com esta tecnologia, os dados da nuvem de pontos e as imagens captadas são georreferenciadas com precisão em tempo real com recurso aos sensores de posicionamento integrados nas mesmas.

O “mobile mapping” existe há quase tanto tempo quanto o GPS. Ao longo dos anos, a lista de aplicativos para mapeamento móvel continuou a crescer, identificando-se em seguida alguns exemplos mais usuais:

- Modelação 3D das cidades para planeamento e projetos urbanos;
- Acompanhamento de trabalhos de construção;
- Inspeção dos pavimentos da rede rodoviária;
- Gestão dos ativos das infraestruturas de transporte;
- Segurança pública;
- Criação de modelos de realidade virtual para vídeo jogos e para produções cinematográficas;
- Monitorização do meio ambiente: rios, erosão costeira, deslizamentos de terra etc.;
- Mapeamento de estradas para navegação de veículos autónomos;
- Levantamento e gestão das infraestruturas de transporte aéreo de energia elétrica [20].

Um sistema de mapeamento móvel captura dados e imagens LiDAR, normalmente numa grande área. Para o conseguir de forma eficiente, os sensores de digitalização e imagem operam continuamente enquanto o veículo se move para a área de projeto. Todos os dados devem ser georreferenciados, o que é uma operação complicada de garantir o mencionado, porque cada ponto de varrimento e cada imagem da câmara são observados a partir de uma posição diferente. Para alinhar adequadamente todos os dados, a posição e a orientação dos sensores deve ser calculada com grande precisão para cada momento durante uma missão de captura de dados, devendo ser assegurado que:

- A posição relativa e a orientação dos sensores na plataforma devem ser conhecidas com precisão;

- A posição e orientação absoluta da plataforma deve ser conhecida com precisão em cada momento;
- Os dados captados pelos sensores de digitalização e de imagem devem ser sincronizados com precisão com os sensores de posicionamento.

Normalmente o GNSS fornece dados de posicionamento para um sistema de mapeamento móvel em intervalos de 1 segundo. Porém, os sensores de digitalização e imagem funcionam continuamente, pelo que não é suficiente saber a posição dos sensores a cada segundo. É por isso que todos os sistemas de mapeamento móvel utilizam uma unidade de medição inercial (IMU) para ajudar a obter uma boa precisão entre posições fixas de GNSS [20].

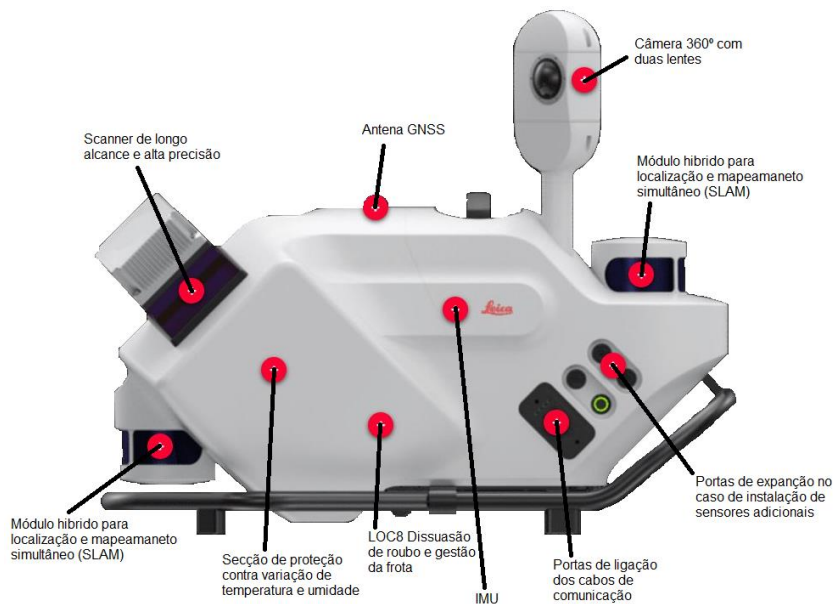
Abaixo, pode verificar-se a contribuição de cada sensor que permite tornar os dados tão valiosos, com as coordenadas no sistema de coordenadas pretendido que o equipamento GNSS fornece:

- GNSS (Global Navigation Satellite System): é o sensor de posicionamento primário, que é utilizado para calcular a posição absoluta dos sensores em coordenadas reais relativamente aos outros sensores, que fornecem coordenadas relativas cujo objetivo é melhorar a precisão;
- IMU (Inertial Measurement Unit): utiliza giroscópios e acelerómetros para medir a orientação e a aceleração; o sensor detém uma elevada taxa de medição que permite calcular a posição dos sensores entre as fixações GNSS de 1 segundo;
- DMI (Distance Measurement Instrument): utilizado em meio urbano, onde a cobertura GNSS pode ser comprometida devido à existência dos edifícios altos, túneis e debaixo de viadutos ou pontes; pode ser montado na roda do veículo que mede a rotação e o ângulo da roda: os dados do DMI podem ser utilizados para determinar a distância, a velocidade e a aceleração.

O respetivo sistema de posicionamento do “mobile mapping” considera os dados de todos os sensores disponíveis. Desse modo, garante o cálculo preciso da trajetória que permite determinar a posição de cada ponto de varrimento e de cada imagem com rigor [20].

### **2.2.3.1 Tecnologia LiDAR Dinâmica terrestre**

Como exemplo para descrever o método de mapeamento móvel, recorre-se ao equipamento da Hexagon Leica GeoSystem - Pegasus TRK (Figura 2-38).



**Figura 2-38 – Unidade LiDAR terrestre Pegasus TRK (adaptado de [20])**

O tipo de scanner instalado no Pegasus gira continuamente num plano em torno de um único eixo que pode digitalizar até 250 linhas de feixe laser por segundo. À medida que se avança, o laser gira em espiral, medindo pontos em secções transversais. O alcance do laser para diferentes superfícies é apresentado em seguida:

- Superfícies de betão cuja reflectância representa 50%, o alcance é de 490m;
- Pavimentos de tipo asfáltico com reflectância não superior a 20%, o alcance representa 290m;
- Superfícies com 10% de reflectância (solo húmido / vegetação seca), o alcance do feixe laser não pode superar os 205m.

Superfícies sujas, pluviosidade e ângulos de incidência apertados podem contribuir para a diminuição dos valores acima apresentados.

Apresenta-se em seguida a metodologia de trabalho para obtenção das nuvens de pontos com recurso a metodologia de “Mobile Mapping”:

#### 1. Planeamento do trabalho:

- Realizar visitas ao local para perceber as condições ambientais, identificar potenciais obstáculos e áreas de difícil acesso;
- Desenvolver um plano de rota do movimento do veículo, garantindo a sobreposição adequada entre passagens para facilitar o registo e fusão do equipamento;
- Identificar e distribuir pontos de controle com coordenadas conhecidas; quando não há preocupação com precisão centimétrica (1,5cm - 2,5cm), os pontos de controle são

opcionais; se na trajetória de varrimento houver condições para cortar a cobertura de satélites, nestes locais convém materializar marcas de posicionamento só para comprovar e verificar o cálculo da posição com recurso ao IMU e SLAM; quando há necessidade de precisões milimétricas, os pontos de controle distribuídos de uma forma racional ajudam a incrementar o rigor das nuvens captadas.

## 2. Preparação do equipamento:

- Garantir a montagem de uma forma segura no veículo terrestre;
- Montar e inicializar o sistema de navegação e posição GNSS e confirmar que as correções GPS estão a ser processadas corretamente pelo equipamento;
- Efetuar a calibração do IMU e SLAM numa zona com boa cobertura GNSS.

## 3. Aquisição de dados:

- Percorrer a rota planificada;
- Utilizar o software de aquisição para monitorizar os dados em tempo real, verificando a continuidade e a qualidade da informação recolhida.

## 4. Processamento inicial de dados:

- No caso de aquisição de nuvem de pontos de baixa densidade acompanhadas com correções GNSS o processamento é feito no próprio equipamento;
- As imagens são concatenadas em simultâneo com o varrimento laser;
- A garantia de privacidade é feita em tempo real, desse modo as caras das pessoas e as matrículas dos carros aparecem difusas;
- No caso de acompanhamento do varrimento laser pelas correções GNSS também é feito o cálculo da trajetória em tempo real.

## 5. Pós-processamento de dados:

- Para processar as nuvens de pontos pode usar-se a trajetória calculada em tempo real; se durante a colheita de dados houve interrupções das correções GNSS, pode ajustar-se a trajetória com recurso ao algoritmo ICP e os pontos de controle previamente criados e visíveis na nuvem de pontos e nas imagens panorâmicas;
- Os dados devem ser revistos de modo a obter a melhor otimização da trajetória, uma vez a trajetória calculada e otimizada as nuvens de pontos e as imagens são ajustadas à mesma automaticamente;
- Remoção do ruído, que consiste em remoção automática ou manual do ruído e dos pontos irrelevantes;

- Classificação manual dos pontos ou utilizando algoritmos que se baseiam nas escalas RGB dos pontos ou noutros critérios que podem ser definidos pelo utilizador (níveis de cotas, inclinações de superfícies, exposição etc.);
- Exportação das nuvens de pontos nos formatos adequados para a aplicação final, considerando compatibilidades com outros softwares e sistemas;
- O último passo é criação dos relatórios para comprovar a qualidade e autenticidade dos dados obtidos.

### 2.2.3.2 Tecnologia LiDAR Dinâmica aérea

Como exemplo para descrever a tecnologia LiDAR Dinâmica Aerotransportada recorre-se em seguida à metodologia adotada numa empreitada da Sacyr–Somague e Sacyr–Neopul designada “Empreitada de modernização da Linha da Beira Alta – troço: Santa Comba Dão / Mangualde”

Neste caso particular, foi usado o Sistema LiDAR aéreo *RIEGL VP1 VUX System* (Figura 2-39). Pode considerar-se o sistema mencionado como compacto e flexível, o qual alia o seu tamanho ao peso específico para ser transportado numa aeronave tripulada, que no caso em apreço foi um helicóptero. A semelhança do sistema terrestre o sistema dispõe de sensores como IMU e antena GNSS, que permite a recolha dos dados com uma precisão centimétrica e duas câmaras fotográficas [22], [24].



**Figura 2-39 – Sistema Laser móvel RIEGL VUX e integração no sistema VP1 (adaptado de [25])**

O sistema apresentado é um sistema híbrido que permite a recolha de dados pelo método acima descrito do “Mobile Mapping”.

O Varrimento LiDAR aéreo, é uma solução de recolha de dados e mapeamento inovadora e sem precedentes, permitindo de uma forma célere, precisa e segura, recolher e determinar em poucos minutos as coordenadas de milhões de pontos, que dão origem às nuvens de pontos. Como as imagens são recolhidas em simultâneo com o varrimento laser, as mesmas

são rebatidas sobre as ditas nuvens de pontos, desse modo permitindo a atribuição das cores aos pontos com as escalas RGB.

O sistema que serve como exemplo foi montado numa aeronave comercial devidamente certificada.

Apresenta-se em seguida a metodologia de trabalho para obtenção das nuvens de pontos com recurso a metodologia de LiDAR dinâmico aéreo:

#### 1. Planeamento do trabalho:

- Análise preliminar do Risco
  - Verificar as obstruções na área de voo, como postes, antenas de comunicação, atravessamentos de cabos de Média Tensão ou Alta Tensão;
  - Definir locais para aterragens de emergência;
  - Definir pontos de abastecimento da Aeronave.
- Planeamento da localização dos pontos de controle, fotogramétricos e de verificação de qualidade da nuvem de pontos e fotografias aéreas;
- Verificação do referencial da obra em planimetria e altimetria;
- Definição e ajustamento do plano de trabalhos; tempos de execução no campo e tempos de execução no gabinete;
- Instalação do Sistema LiDAR num helicóptero comercial e realização de um voo de teste.

#### 2. Recolha de dados:

- Pontos de controlo – são importantes e necessários para o ajuste e constrangimento do levantamento por varrimento Laser Aéreo ao referencial de coordenadas existentes no projeto; os mesmos são necessários também para efetuar o ajuste da trajetória em pós-processamento; como foi já relatado no presente documento, quanto maior a densidade desses elementos melhor será a qualidade dos dados obtidos; como o sistema de RIEGEL está equipado com uma unidade inercial bastante precisa, com uma taxa de dados de 200 Hz, empiricamente foi deduzido que para este tipo recolha de dados a distribuição dos pontos de controlo a cada 5 km é suficiente;
- Pontos de verificação de validação das nuvens de pontos e da orto-photo – devem ser pontos identificáveis com facilidade na nuvem de pontos no meio virtual, podendo ser objetos, estruturas ou pontos notáveis existentes na área sobrevoada, ou colocados especificamente para o efeito, e dentro da área onde é realizada a deteção remota;
- Varrimento LiDAR – as trajetórias de voo devem ter uma sobreposição de 20%, de modo a assegurar integridade de dados e redundância de informação; efetuar voos a

velocidades reduzidas para garantir a estabilidade da aeronave e recolha de dados com a resolução pretendida; a altura de voo recomenda-se que seja realizada num patamar de 60m a 80m acima do solo.

### 3. Processamento dos dados:

- Processamento das bases de referência, onde se realiza a correção diferencial dos dados da trajetória, que é recolhida na operação de voo.
- Georreferenciação e ajustamento das nuvens de pontos;
- Controlo de qualidade, precisão e exatidão das nuvens de pontos:
  - Relatórios de observação e ajuste da rede geodésica;
  - Relatórios estatísticos do cálculo e ajuste das trajetórias das missões de recolha de dados;
  - Relatórios estatísticos do registo das nuvens de pontos;
  - Comparação estatística dos dados da nuvem de pontos com os pontos notáveis observados por método convencional;
  - Comparação estatística de dados da nuvem de pontos de validação de nuvens redundantes;
  - Comparação de dados de elevação nas zonas de união dos varrimentos sobrepostos.
- Limpeza, eliminação do ruído e classificação das nuvens de pontos;
- Ajustamento de dados;
- Exportação das nuvens de pontos nos formatos adequados para a aplicação final, considerando compatibilidades com outros softwares e sistemas [22], [24].

#### **2.2.4 Como escolher o equipamento adequado**

Apostar num equipamento de “laser scanning” pode oferecer inúmeros benefícios para uma empresa de construção. No entanto, é essencial avaliar cuidadosamente os custos iniciais, a adequação ao tipo de trabalho realizado e a frequência de uso do equipamento. Para o uso correto do equipamento, será necessário adquirir outro tipo de equipamento como estações totais e recetores GNSS.

Em muitos casos as empresas envolvidas na construção e manutenção das vias ferroviárias, tem dificuldade de garantir uma rentabilização desse tipo de equipamento, que para o tipo da infraestrutura a mais adequada forma de aquisição de nuvem de pontos é o “mobile mapping” ou LiDAR aéreo, equipamento que requer um investimento inicial elevado [20].

Na maioria dos casos, recorre-se à subcontratação de empresas cuja atividade é focada nesta área.

Para se ter uma noção da logística necessária, apresentam-se na Tabela 2-3 e na Tabela 2-4, os meios necessários que foram mobilizados para efetuar o LiDAR aéreo para 43 km de via, numa faixa com a largura de 400 m na linha ferroviária da Beira Alta, em que a duração dos trabalhos não excedeu as 5 semanas.

**Tabela 2-3 – Mapa de recursos humanos para realização do LiDAR Aéreo**  
[22], [24]

<b>Equipa Técnica</b>	<b>Funções</b>	<b>Quantidade</b>
Eng.º Geógrafo sénior	Coordenação Técnica de Projeto	1
Operador	Operador de missão na aeronave	1
Operador auxiliar	Operador de missão no terreno	1
Eng.º Geógrafo	Processamento	1
Topógrafo Sénior	Operação de campo – Pontos de controle	2
Desenhador	Desenho Técnico	2
Eng.º Geógrafo	Controlo de qualidade e validação	1

**Tabela 2-4 – Mapa de Equipamentos e Software para realização do LiDAR Aéreo**  
[22], [24]

<b>Equipamento</b>	<b>Marca/Modelo</b>	<b>Quantidade</b>
Helicóptero tripulado	Airbus 350 B3	1
Sistema LiDAR aéreo	RIEGL VUX LiDAR SYSTEM	1
WORKSTATION	DELL T7600 – Cluster de processamento de dados massivos	4
GNSS RTK	TRIMBLE R8 GNSS L1+L2	4
Software LiDAR	Riegel Riacquire/Riegl RiProcess	1
Software modelação 3D	Leica Cyclone 3DR	2
Software de processamento GNSS	Leica Infinity	1
Software de desenho	Autocad Autodesk	2

Se uma empresa conseguir obter o máximo de benefício, o investimento poderá proporcionar um retorno significativo, aumentando a competitividade e a capacidade de resposta da empresa.

Na escolha do sistema adequado para a aquisição de nuvem de pontos, devem ter-se em consideração os seguintes aspetos:

- Precisão e resolução pretendida das nuvens de pontos no alcance máximo do equipamento;
- Capacidade e rapidez da captura;
- Transporte, portabilidade e facilidade de uso;
- Compatibilidade e integração com o software disponível no mercado para modelação 3D;

- Preço;
- Suporte e formação por parte dos fornecedores, que é um dos fatores mais importantes para o uso deste sistema;
- Garantir a rentabilidade do equipamento;
- Possibilidade de atualização e modernização sem adquirir novos equipamentos.

### **2.2.5 Razões para considerar a tecnologia “laser scanning” no apoio à Ferrovia**

A via-férrea não é um elemento isolado, é um sistema complexo composto por diversos elementos interdependentes, cada um desempenhando um papel crucial para a operação segura e eficiente do transporte ferroviário.

Em fase de exploração, modernização e manutenção é importante ter o conhecimento da localização e do estado destes elementos que compõem a infraestrutura. A tecnologia LÍDAR revolucionou a metodologia de recolha da informação, com recurso a nuvens de pontos e imagens panorâmicas 3D. Seguidamente apresentam-se algumas das vantagens inerentes à utilização da tecnologia de laser scanning nos trabalhos ferroviários:

- Medições de alto rigor, eficiência e rapidez na aquisição da informação;
- Baixa interferência com a atividade ferroviária e circulação dos comboios;
- Monitorização contínua e deteção de anomalias;
- Simulações e modelações 3D;
- Análise da segurança e visibilidade;
- Prevenção de acidentes;
- Inspeção remota não invasiva de estruturas;
- Determinação de quantidades com rigor e rapidez;
- Redução elevada do risco de acidentes para os técnicos;
- Facilita e garante qualidade na aposta na pré-fabricação;
- Verificação de gabari em qualquer secção do traçado;
- Permite planificar e executar com rigor trabalhos de otimização de traçado;
- Alturas, desalinhamentos e desaprumos da catenária em qualquer secção de traçado;
- Sustentável, permite otimizar os custos e os recursos materiais e humanos;
- Permite efetuar uma planificação e gestão eficiente dos ativos.

### **2.3 Soluções 3D para acompanhamento e controle de Máquinas Pesadas de Via**

O objetivo deste subcapítulo é apresentar as soluções disponíveis para controlo e acompanhamento de máquinas pesadas de obra. Para descrever estas tecnologias, no

presente subcapítulo são usadas como exemplo as tecnologias propostas pela Leica iCON na parte da infraestrutura e AMBERG na parte da superestrutura da Via-Férrea.

Os sistemas de controle de máquinas, no fundo não passam de sistemas que permitem um melhor apoio ao controle humano da máquina. Estes sistemas permitem controlar o trabalho das máquinas com rigor elevado, que se traduz em maiores rendimentos e eficiência.

Mencionam-se em seguida algumas das vantagens que se podem alcançar apostando nesta tecnologia:

- Alta precisão: Tecnologia GNSS e estações totais robóticas fornecem posicionamento com precisão milimétrica. As correções de posição contínuas em tempo real, asseguram que a posição da máquina é continuamente ajustada e corrigida conforme as necessidades do traçado e dos trabalhos a executar;
- Redução de erros: a orientação e condução automática das máquinas minimiza os erros humanos, reduzindo a necessidade de manobreadores bem qualificados, que são um recurso escasso no mercado de trabalho presentemente;
- Incremento acentuado da produtividade;
- Permite operação contínua das máquinas;
- Otimização dos recursos humanos e menos intervenção humana;
- Desperdício de matérias muito reduzido;
- Garantia das quantidades de projeto, no caso das terraplenagens e pavimentação;
- Aumento da segurança;
- Monitorização em tempo real;
- Integração com a metodologia BIM, sendo possível a transferência de dados entre a fase de planeamento e a de execução no local, permitindo uma coordenação mais eficaz e uma melhor gestão de fluxo de trabalho;
- Sustentabilidade (redução de consumo de combustíveis).

### **2.3.1 Controlo de máquinas na construção da infraestrutura ferroviária**

O controlo das máquinas para motoniveladoras, buldózers, pás carregadoras e espalhadoras de massas betuminosas pode ser realizado de 3 maneiras:

- 1D Sistemas que regulam só em altura;
- 2D Sistemas que regulam a altura e pendente;
- 3D Sistema que regula altura, posição e pendente, realizando projetos com geometria complexa.

### 2.3.1.1 Controlo de máquinas 1D e 2D

O modo 1D e 2D realiza-se com recurso a existência de uma referência física (Figura 2-40), como um cabo esticado ou um lancil, onde o sensor de controlo consiga fazer a leitura da rasante. Só executa pendentes transversais constantes.

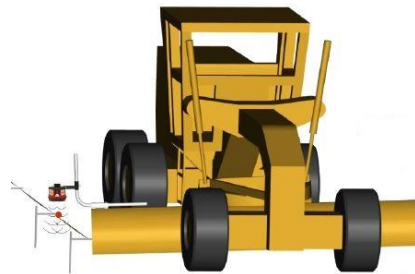


Figura 2-40 – Sistema de controlo 2D de modelo “Leica iCON Grade” [20]

O sensor acoplado mantém a lâmina sobre a referência física com a tecnologia “TriSonic”, este sistema aplica correções se surgirem afastamentos ligeiros do cabo de leitura. Ajuda reduzir a fadiga do operador e dispensa 2 serventes necessários para acompanhar a máquina. Garante o rigor no caso de operadores menos experientes.

### 2.3.1.2 Controlo de máquinas 3D

Esta solução funciona com ajuda de sensores como IMU, GPS Dual Positioning e Estação Total ou Laser (para garantir rigor milimétrico em altimetria).

No caso dos buldózers permite o funcionamento a velocidades mais altas, garante a homogeneidade da superfície, posicionamento instantâneo da lâmina em qualquer terreno, com base nos dados de projeto, permite nivelar mais rapidamente mantendo a precisão. Reduz a necessidade de repetição dos trabalhos.



Figura 2-41 – Tecnologia de controlo 3D de modelo “SP. iGD3 - iGD4SP Leica iCONE” [20]

Para as motoniveladoras a tecnologia permite regular a elevação e a inclinação transversal da lâmina de regularização com recurso aos sensores de posicionamento e inercial. O sistema

para este tipo de máquinas (Figura 2-42) é mais complexo. Alguns dos sensores que apoiam o sistema são mencionados em seguida:

- Inclinómetro, que determina a inclinação da lâmina em tempo real;
- IMU, que permite determinar inclinação longitudinal e transversal dos eixos da máquina;
- Sensor de rotação angular da articulação da máquina;
- Sensores ultrassónicos, que fazem a leitura da plataforma;
- Posicionamento 3D com recurso a Antena GNSS ou estação total;
- Consola de controlo no interior da máquina;
- Na ausência de estação total para garantir rigor milimétrico em alturas, em conjunto com a antena GNSS pode usar-se um recetor de feixe laser rotativo com visibilidade de 360°.

Esta solução permite operar a máquina em modo automático e garante desperdício mínimo de material. Pode considerar-se o sistema com maior rentabilidade registada. Executa trabalhos com geometria complexa.

No apoio às escavadoras (Figura 2-43), o sistema permite controlar todo o tipo dos trabalhos de escavação:

- Escavação para abertura de sapatas isoladas;
- Escavação de plataformas com várias inclinações;
- Escavações abaixo da superfície de água sem visibilidade;
- Abertura de valas com rigor milimétrico;
- Execução de escavações em linha com perfis de geometria complexa;
- Cálculo do volume de escavação em tempo real;
- Atualização do modelo digital da obra conforme avanços de trabalhos.



Figura 2-42 – Sistema 3D de modelo “iCON Grade” para motoniveladoras [20]



Figura 2-43 – Sistema 3D de controle de escavadoras de modelo “iCON excavate iCP41” [20]

Os benefícios de utilização desta tecnologia podem ser consultados na Tabela 2-5 com dados financeiros estatísticos fornecidos pela Leica GeoSystem, comparando o método convencional

e o método de controle 3D iCON GRADE motoniveladora + estação total, na execução de uma camada de ABGE (agregado britado com granulometria extensa) numa extensão de 1000m, com largura de 14,50m e espessura de 0,25m.

**Tabela 2-5 – Ganhos obtidos com a utilização de sistema de controle de máquinas**  
[20]

	Custo por quilómetro		Ganhos	
	Método convencional	Com controle de máquinas	€	%
Custos horários com máquinas	3 150.00 €	1 938.46 €	1 211.54 €	38.47%
Combustível	839.00 €	516.31 €	322.69 €	38.47%
Custos com transportes	35 000.00 €	33 250.00 €	1 750.00 €	5.00%
Custos com materiais	35 035.00 €	33 283.00 €	1 752.00 €	5.01%
Medição e acompanhamento da execução	1 165.00 €	696.31 €	468.69 €	40.24%
TOTAL	75 189.00 €	69 684.08 €	5 504.92 €	7.33%

### **2.3.2 Acompanhamento e controle 3D de máquinas pesadas na construção / manutenção da superestrutura ferroviária**

Na construção e manutenção das vias-férreas, as máquinas que justificam o acompanhamento e controle 3D são as atacadeiras, que em inglês são conhecidas como “Tamping Machine” (Figura 2-44).

O objetivo principal das atacadeiras é consolidação do balastro, podendo ao mesmo tempo efetuar a reposição/correção dos parâmetros geométricos e dinâmicos, alinhamentos horizontais e longitudinais da via com recurso a compressão intensa, pela ação das pioches, que realizam o seu trabalho em três fases:

- Penetração: as pioches penetram verticalmente para baixo o balastro existente entre as travessas;
- Consolidação e ripagem: as pioches compactam com um movimento elíptico de alta frequência o balastro por baixo da travessa e as pinças de nivelamento e de alinhamento ripam a via para a posição desejada;
- Avanço: as pioches são levantadas e a máquina avança para o conjunto seguinte de travessas repetindo o ciclo.

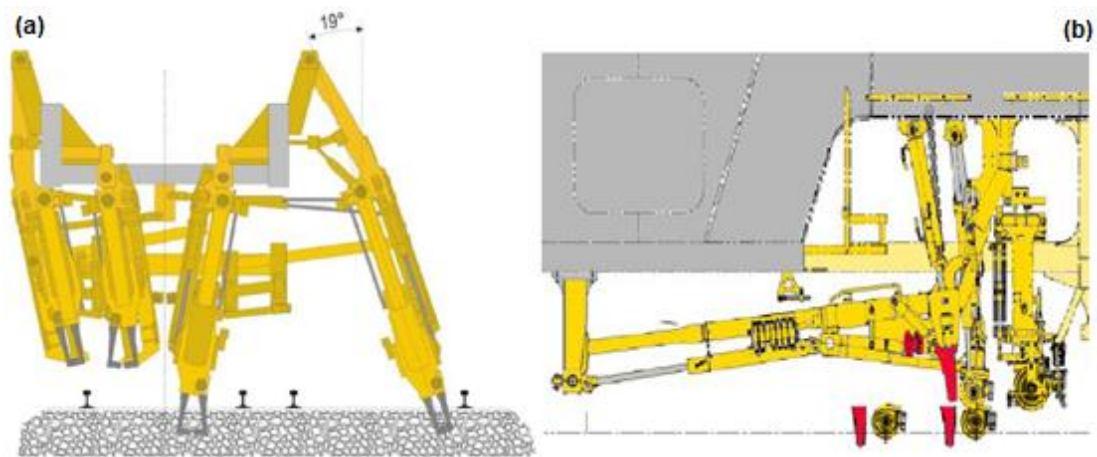


Figura 2-44 – Atacadeira / Pioches de consolidação de balastro (a) e pinças de ripagem de via (b) [26]

Os ataques devem ser realizados com informação obtida das seguintes formas:

- Pela atacadeira, no caso das geometrias desconhecidas; com recurso ao calculador de guia, permite efetuar a otimização ideal da via. O calculador define:
  - O nivelamento e o deslocamento com base nos dados de aquisição e os parâmetros baseados na velocidade praticada;
  - Elabora gráficos dos trabalhos executados.
  
- Com recurso a sistemas de medição de via (carros de via e sistemas inerciais) no caso das geometrias conhecidas (Figura 2-45 e Figura 2-46). Não é necessária uma leitura de via feita pela atacadeira antes do início dos trabalhos de medição. Para utilização do calculador de guia neste método, as seguintes informações devem estar disponíveis:
  - Posição quilométrica do início do ataque;
  - Posição quilométrica do início e fim dos pontos notáveis da diretriz e rasante;
  - Os raios das curvas e o seu sentido;
  - As escalas (diferença altimétrica entre as fotas dos carris (fila alta – fila baixa)) e os seus sentidos;
  - As pendentes longitudinais e a alteração das mesmas;
  - Os valores de ripagem vertical/horizontal com equidistâncias que permitam uma correção de geometria de via adequada.

O sistema de medição da máquina inclui diferentes elementos mecânicos, óticos e informáticos.

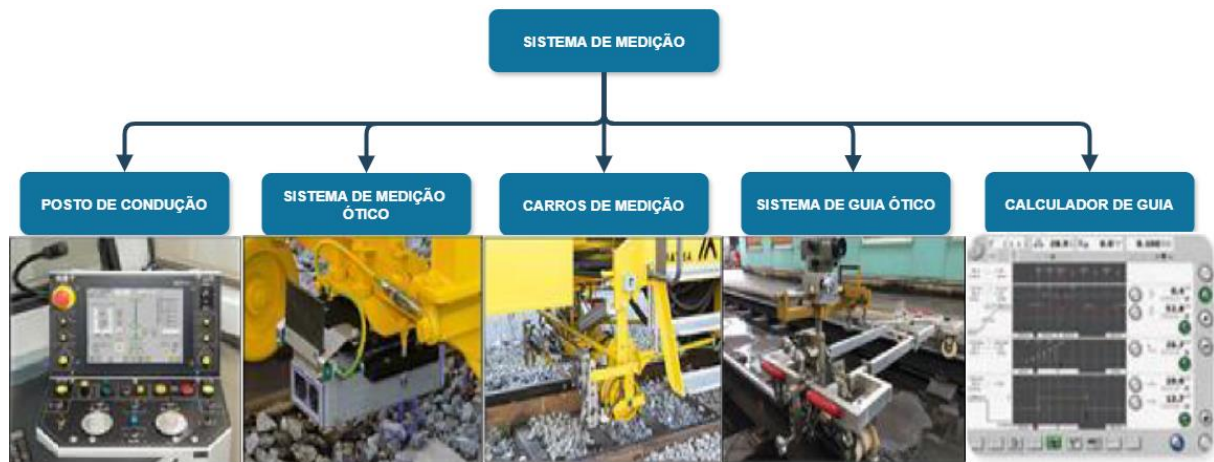


Figura 2-45 – Sistema de medição da atacadeiras

[26]

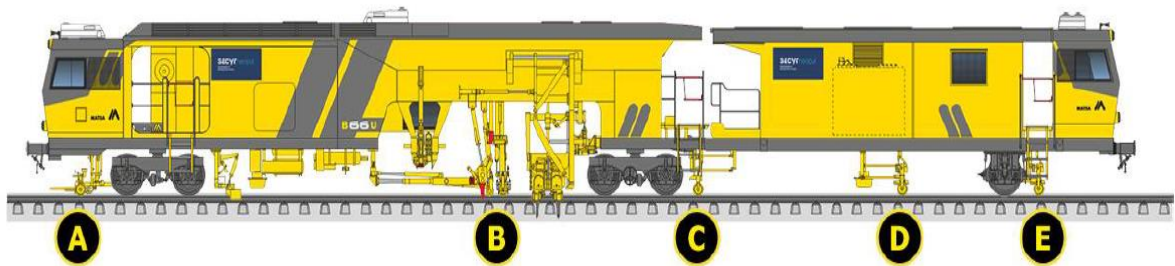
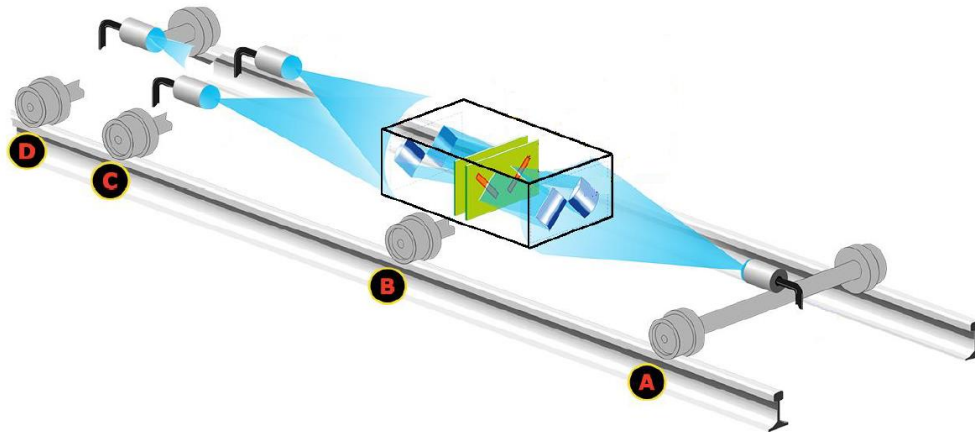


Figura 2-46 – Carros de medição da atacadeiras

[26]

O procedimento de medição e de cálculo efetuado pela máquina é designado de “Recoloring”. A medição dos parâmetros da geometria de via é efetuada por uma base de 3 pontos que na Figura 2-47 podem ser identificados pelas letras C, D e E, que têm uma relação de 6/4m. A unidade de aquisição do sistema de “recoloring” recebe os parâmetros da geometria da via, assim como o sinal da fila do carril lido:

- Carro de medição A, é montado na parte dianteira da máquina (diante do bogie 1) tocando a via a tratar;
- Carro de medição B posicionado entre as pinças de nivelamento/deslocamento e as atacadeiras da via, executa a auscultação da via e deteta o carril;
- O carro de medição C posicionado na parte de trás do bogie 2, realiza o registo da sobreelevação (escala);
- Carro de medição D posicionado sob o reboque, depois do eixo 5, utiliza-se para o trabalho e o registo; verifica e lê a via já tratada;
- Carro de medição E posicionado sob o reboque, utiliza-se unicamente para o registo. Verifica e regista a via já tratada [26].



**Figura 2-47 – Sistema de medição ótico**  
[26]

O módulo de tratamento efetua o cálculo dos valores de nivelamento e de ajuste para cada carril, para comprimentos de onda da gama D1 (3 a 25m) recolridos segundo a função de transferência da base medida. Estes cálculos são efetuados utilizando os valores das setas de nivelamento e ajuste, a sobre-elevação, o afastamento e a informação da fila de carril lido. O cálculo realiza-se durante o curso de registo. A velocidade de registo deve ser baixa, recomendando-se não ultrapassar os 7 km/h a fim de assegurar uma medição rigorosa da sobre-elevação pelo pêndulo eletrónico [26].

Os parâmetros medidos:

- Distâncias acumuladas percorridas, referenciadas a um ponto hectométrico;
- Bitola;
- Alinhamento;
- Nivelamento;
- Sobre-elevação;
- Fila de referência selecionada.

Os parâmetros calculados:

- Ajuste recolrido para cada fila de carril:
  - Calculado com o ajuste para a fila de referência e afastamento
- Nivelamento recolrido para cada fila de carril:
  - Calculado com o nivelamento para a fila média e a sobre-elevação;
- Desnivelamento:
  - Desnivelamento calculado em 3m, a partir da medida de sobre-elevação;
- Raio da curvatura média.

As atacadeiras seguem dois métodos de ripagem da via:

- Sistema de alinhamento relativo a 3 pontos: a fila de referência escolhida é medida utilizando 3 pontos e o alinhamento do carril diretor é realizado até à medição no ponto de meio alcança o valor pretendido. Este método reduz significativamente as imperfeições existentes na via;
- Sistema de alinhamento relativo a 4 pontos: a fila de referência escolhida é medida utilizando 4 pontos, método que é aplicado em alinhamento de curva absoluta e realiza medições em 2 pontos intermédios. As respetivas medidas são comparadas com a geometria correta. Este método permite garantir a quase perfeição da geometria de via, desde que as informações de correção fornecidas o permitam [26].

### 2.3.2.1 Sistema de alinhamento relativo a 3 pontos

No sistema de 3 pontos, os pontos de medida A e C servem de pontos de referência. O ponto A, encontra-se no segmento de via não tratado, e o C no segmento já tratado. No alinhamento, o ponto B que se encontra imediatamente próximo das pinças de deslocamento é deslocado com a via para estar alinhado na reta AC. Os defeitos locais da via, medidos pelo carro A (que se encontra na parte não tratada da via), são reduzidos pelo coeficiente de redução  $K_2$  (na proporção geométrica das distâncias entre os carros (Figura 2-48).

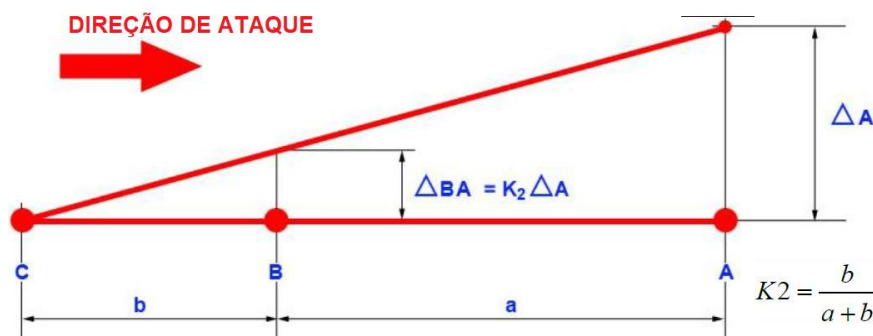


Figura 2-48 – Sistema de alinhamento relativo a 3 pontos em alinhamento reto [26]

O método relativo a 3 pontos em alinhamentos curvos aplica-se em vias de geometria conhecida com dados de correção previamente determinados. O princípio de funcionamento baseia-se no deslocamento virtual do ponto A do valor de guia  $Y_A$  até ao prolongamento da corda formada por B e C, que é uma curva fictícia que segue paralela à via. Os valores de correção  $Y_A$  devem ser introduzidos previamente no computador de guia (Figura 2-49), em que R corresponde ao raio da curva, em planta [26].

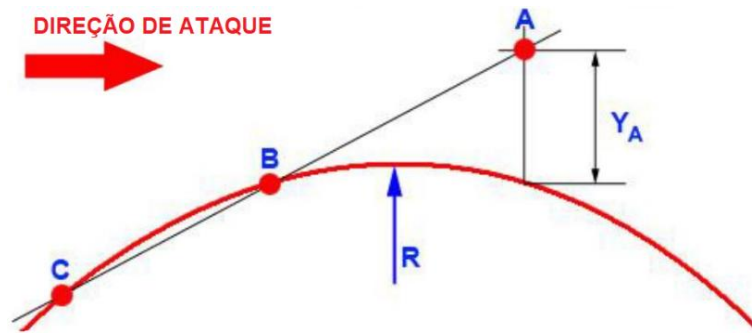


Figura 2-49 – Sistema de alinhamento relativo a 3 pontos em curva [26]

### 2.3.2.2 Sistema de alinhamento relativo a 4 pontos

Este método aplica-se apenas em alinhamentos curvos. Em reta o método de 4 pontos é uma combinação de dois sistemas de 3 pontos (A, B, C e A, B, D).

Em plena curva circular o ponto A (cuja localização é na parte ainda não tratada da via) assim como o C e D (na parte já tratada) servem de pontos de referência. Como no sistema de 3 pontos, o ponto B que se encontra próximo da pinça é deslocado com a via na porção de curva pelos pontos A, C e D. Os defeitos de via locais captados pelo ponto de medição A são também reduzidos do valor do coeficiente de redução dos defeitos  $KA_4$  (Figura 2-50).

$$KA_4 = \frac{\Delta A}{\Delta BA} = \frac{(a+b+c)(a+b)}{b(b+c)}$$

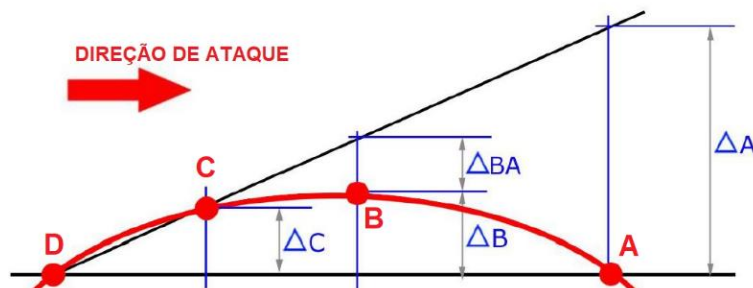


Figura 2-50 – Sistema de alinhamento relativo a 4 pontos [26]

### 2.3.2.3 Sistema de nivelamento e elevação

Este sistema consiste em dois cabos de cordas para cada fila de carril, esticadas firmemente desde a torre frontal (A) até à torre Traseira (C). As picaretas de ataque corrigem os defeitos do nivelamento da via, elevando-a com referência a estas cordas. Os transdutores de altura são montados no conjunto de vibração (B), que se assentam na via entre a unidade de elevação e a unidade de ataque. Ambos os carris estão controlados em separado. Estão providenciados pêndulos entre as hastes de controlo da esquerda e da direita para manter ambas as linhas paralelas e também para medir o desnível transversal (Figura 2-51) [27].

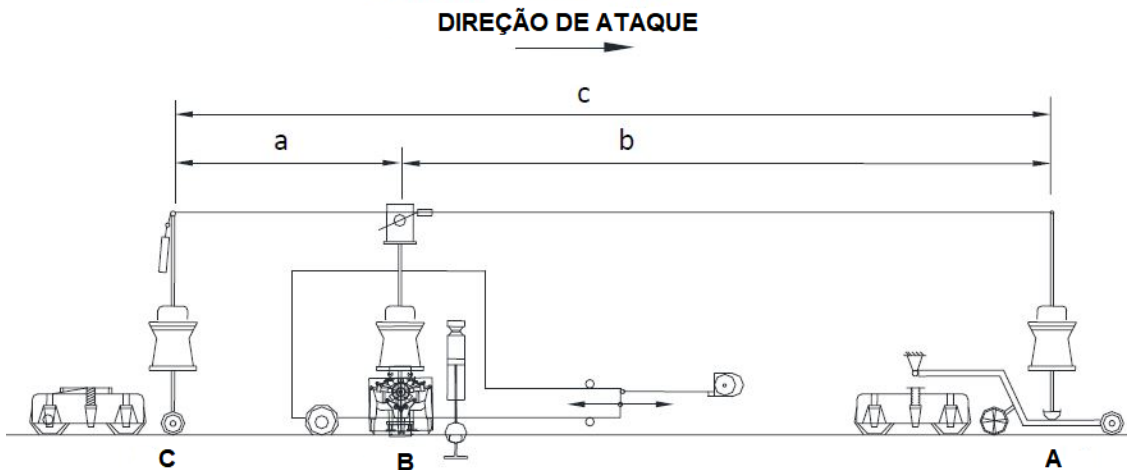


Figura 2-51 – Esquema do sistema de nivelamento e elevação da linha [27]

Os transdutores medem a diferença entre o seu nível zero e o fio da corda. A fila de carril diretor de altimetria é elevada até eliminar esta diferença e a fila da escala é ajustada conforme o valor especificado da mesma [27].

O trabalho de nivelamento e elevação é passível de ser efetuado de duas formas:

- Com as medições realizadas pela atacadeira utilizando os pontos altos no trajeto, tendo em consideração os parâmetros nominais previstos para a via;
- Os dados de elevação determinados com medições prévias a partir de elementos de referência [27].

#### 2.3.2.4 Sistemas de acompanhamento 3D de atacadeiras

Para apresentar exemplos de sistemas de acompanhamento 3D de máquinas pesadas de ferrovia serão usadas as soluções disponíveis no mercado apresentadas pelo grupo Amberg.

Para o controlo de qualidade fiável no processo de construção e manutenção, bem como a determinação e conhecimento dos requisitos necessários para a ferrovia, a Amberg disponibiliza o sistema FX para o levantamento ferroviário, que cumprem os requisitos de qualidade, fiabilidade e desempenho de medição. São suportados os seguintes campos de aplicação:

- Construção e manutenção de via em laje de betão e via em balastro;
- Modo “clearance” que é a verificação de gabaris;
- Laser scanning em linhas existentes e elaboração de telas finais “as-build”.

O Sistema FX da Amberg divide-se nas seguintes categorias:

- GRP: carro individual, equipamento que permite a leitura da via em modo absoluto ou relativo, assegura o acompanhamento 3D da atacadeira em pós-processamento ou em tempo real com recurso ao modo geodésico 3D. Em modo absoluto é acompanhado pela uma estação total, e um laser scanner montado no carro permite a recolha de nuvens de pontos já georreferenciadas sem necessidade de haver pontos de controle. Com o scanner ou perfilómetro, permite funcionar em modo “clearance” para verificar os gabarits ou fazer medições de objetos isolados da infraestrutura ou de linhas contíguas. O sistema é concebido para linhas balastradas e em laje de betão. Este sistema assegura precisões de 1mm. Em termos de rendimentos de recolha de dados com uma estação total aproximadamente 500-600 m/h, com duas estações totais 700-900 m/h;
- VMS: carros duplos equipados com diferentes sensores. Realizam medições relativas ou absolutas com recurso ao método de corda-longa. Elevado desempenho graças ao seguimento automático dos alvos de medição e deteção e medição automática dos pontos de controle (Figura 2-53);
- IMS: este sistema baseia-se na possibilidade de incorporação no sistema GRP para o sistema de posicionamento um sistema inercial IMU. O IMU fica encarregue de realizar medições dos incrementos de posição do carro ao longo do traçado da via. Deste modo pode-se incorporar a estação total no próprio carro, com leitura de pontos de controle que permitem geolocalizar os dados recolhidos. Com este sistema é possível garantir rendimentos de 4 km/h de dados recolhidos (Figura 2-54).



Figura 2-52 – Sistema AMBERG FX GRP 5000 com Laser Scanner  
[28]



Figura 2-53 – Sistema Amberg FX VMS1000 [28]



Figura 2-54 – Sistema Amberg FX IMS 1000 [28]

Todos estes sistemas, através de configurações e calibrações específicas, são integrados no programa de cálculo e análise *Amberg Rail*. O software baseia-se em coordenadas fornecidas por uma estação total ou um sensor GNSS. As calibrações e configurações dos carros incluem parâmetros que afetam a medição da bitola e as condições físicas e geométricas da via. A verificação escrupulosa destas configurações e calibrações do equipamento, assim como a garantia de qualidade das coordenadas fornecidas pode assegurar a qualidade dos dados obtidos e o correto funcionamento do sistema.

Tendo em consideração as tolerâncias de construção exigidas nas vias-férreas que podem ser consultadas na instrução técnica IT.VIA.018 da IP (Tabela 2-6 e Tabela 2-7), um dos maiores desafios é criar uma rede de pontos de controlo/apoio cujo erro de fecho não ultrapasse o valor máximo das tolerâncias exigidas.

Tabela 2-6 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos da via para linhas de bitola 1668 mm e 1435mm em linhas novas ou renovadas [29]

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]						
<sup>1</sup> Bitola	-3/+5	-3/+4	-3/+4	-2/+4	-2/+4	-2/+3
<sup>1</sup> Niv. Transversal	±4	±3	±3	±3	±2	±2
<sup>2</sup> Niv. Longitudinal *	±6	±6	±4	±4	±3	±3
<sup>1</sup> Alinhamento *	±6	±5	±3	±3	±3	±3
<sup>1</sup> Empeno (base 3 metros)	±4.5	±4.5	±3	±3	±3	±3
<sup>2</sup> Niv. Longitudinal D1	±4	±4	±3	±3	±2	±2
<sup>2</sup> Niv. Longitudinal D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±3	±2
<sup>2</sup> Alinhamento D1	±5	±4	±2	±2	±2	±2
<sup>2</sup> Alinhamento D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±3	±2

**Tabela 2-7 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos da via para linhas de bitola 1668 mm e 1435mm em trabalhos de manutenção [29]**

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]						
<sup>3</sup> Bitola	-3/+8	-3/+7	-3/+5	-2/+5	-2/+5	-2/+4
<sup>3</sup> Niv. Transversal	±6	±5	±4	±3	±3	±3
<sup>4</sup> Niv. Longitudinal *	±7	±7	±5	±5	±4	±4
<sup>3</sup> Alinhamento *	±8	±7	±5	±5	±4	±4
<sup>3</sup> Empeno (base 3 metros)	±6 <sup>5</sup>	±4.5 <sup>5</sup>	±4.5	±4.5	±3	±3
<sup>4</sup> Niv. Longitudinal D1	±5	±5	±4	±4	±3	±3
<sup>4</sup> Niv. Longitudinal D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±4	±3
<sup>4</sup> Alinhamento D1	±6	±5	±4	±4	±3	±3
<sup>4</sup> Alinhamento D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±4	±3

Para garantir os valores indicados nas Tabela 2-6 e Tabela 2-7, há que ter em conta as distâncias de trabalho e o tipo de estação total a usar, bem como garantir que o cálculo das coordenadas e do rumo de referência seja feito usando no mínimo 3 pontos, com uma distribuição equilateral de preferência. Na Tabela 2-8 e Tabela 2-9, apresentam-se unicamente os erros teóricos conforme os parâmetros da estação total, partindo do princípio de que a poligonal de apoio está perfeita, o erro final é a soma do erro angular com o erro do electro distanciómetro da estação total.

**Tabela 2-8 – Erros teóricos devido a precisão angular da Estação Total [28]**

Precisão Angular	Visada da estação total			
	50m	100m	150m	200m
5"	0,0012m	0,0024m	0,0036m	0,0048m
3"	0,0007m	0,0014m	0,0021m	0,0028m
1"	0,0002m	0,0005m	0,0007m	0,0009m
0,5"	0,0001m	0,0002m	0,0004m	0,0005m

**Tabela 2-9 – Erros teóricos devido a precisão do EDM [28]**

Precisão EDM	Visada da estação total			
	50m	100m	150m	200m
2mm+2ppm	0,0021m	0,0022m	0,0023m	0,0024m
1,5mm+2ppm	0,0021m	0,0022m	0,0023m	0,0024m
1mm+1ppm	0,0011m	0,0011m	0,0012m	0,0012m
0,6mm+1ppm	0,0007m	0,0007m	0,0008m	0,0008m

## 2.4 Conclusões

Em resumo, para a deteção remota em face das propriedades descritas não se pode seleccionar arbitrariamente o sensor a ser usado em qualquer tarefa de deteção remota e deve ter-se em consideração o seguinte:

- A sensibilidade espectral dos sensores disponíveis;
- A presença ou ausência das janelas atmosféricas nos limites espectrais que queremos detetar;
- A fonte, a magnitude e a composição espectral da energia disponível nos limites espectrais pretendidos [10].

A escolha da faixa espectral do sensor deve basear-se no modo de como a energia interage com as características da superfície em estudo.

Em resumo é lícito concluir que são inúmeros os benefícios da utilização de Drones e Sistemas LiDAR na captação da realidade virtual, tornando os processos mais rápidos, precisos, económicos e seguros para os agentes envolvidos na atividade de engenharia civil.

Só com a escolha correta da configuração do sistema a usar em obra e seguindo os requisitos mínimos definidos, é possível garantir um maior rendimento no acompanhamento e controlo 3D das máquinas pesadas, possibilitando o rendimento máximo para o desempenho das mesmas.

### 3 O PROJETO

Com o intuito de permitir um melhor enquadramento da empreitada que suporta o presente documento, considerou-se útil a apresentação, de forma sumária, do projeto que lhe deu origem, ressaltando os aspetos mais importantes.

#### 3.1 Âmbito da Intervenção e Objetivos

O projeto que serviu de suporte à Empreitada, refere-se à Modernização da Linha do Norte entre Vale de Figueira e o Entroncamento (Figura 3-1), encontrando-se subdividido em 3 subtroços que se discrimina seguidamente:

- Subtroço T1 (VF) – Estação de Vale Figueira, Pk 84+266 ao Pk 85+167;
- Subtroço T2 (MM) – Pk 93+740 ao Pk 95+236;
- Subtroço T3 (RE) – Estação de Riachos ao Entroncamento, Pk 102+129 ao Pk 104+757.

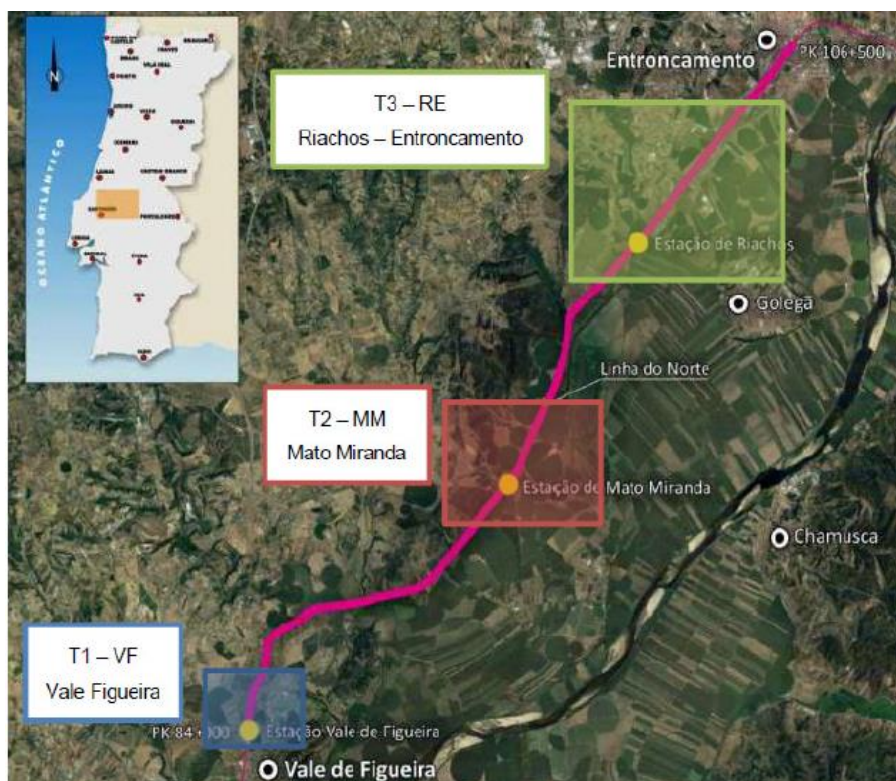


Figura 3-1 – Locais da Intervenção entre Vale de Figueira e o Entroncamento

As intervenções previstas têm como objetivo a eliminação de constrangimentos de capacidade que condicionam a carga máxima rebocada, bem como potenciar as condições de exploração, mediante a adaptação das configurações de estações para possibilitar o cruzamento de composições com 750 metros de extensão.

## 3.2 Organização do Projeto

De acordo com a estrutura organizativa definida pelo Dono de Obra, IP (Infraestruturas de Portugal), o projeto concluído em 2022 pelo agrupamento de empresas COBA, TYPSA, TECNOFISIL e GRID, é constituído pelos 12 volumes que se identificam na Tabela 3-1.

**Tabela 3-1 – Organização do Projeto**

Volume	Designação
00	GERAL
01	INFRAESTRUTURA E PLATAFORMA DE VIA-FÉRREA
02	INFRAESTRUTURA DE OBRAS DE ARTE (VIA-FÉRREA)
03	SUPERESTRUTURA DE VIA
05	INFRAESTRUTURAS DE BASE À SINALIZAÇÃO
06	INFRAESTRUTURAS DE BASE ÀS TELECOMUNICAÇÕES
07	CATENÁRIA E ENERGIA DE TRAÇÃO
08	EDIFICAÇÕES
09	EXPROPRIAÇÕES
10	FASEAMENTO CONSTRUTIVO GERAL
11	SERVIÇOS AFETADOS

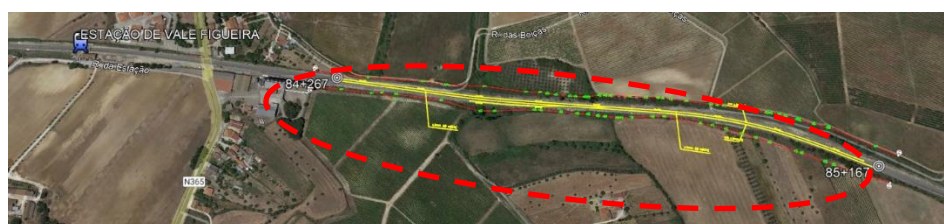
Alguns dos volumes foram objeto de desdobramento em Tomos, sendo que a organização integral pode ser observada no Anexo I – Organização do Projeto.

## 3.3 Principais intervenções previstas

Sem pretender menosprezar algumas das especialidades, este trabalho incide sobre aquelas que mais diretamente estão ligadas à parte ferroviária, propriamente dita, e que nesta fase melhor permitem a avaliação da utilização dos novos recursos tecnológicos que se pretendem abordar no presente documento. Neste âmbito, apenas foram consideradas as especialidades que se descrevem em seguida.

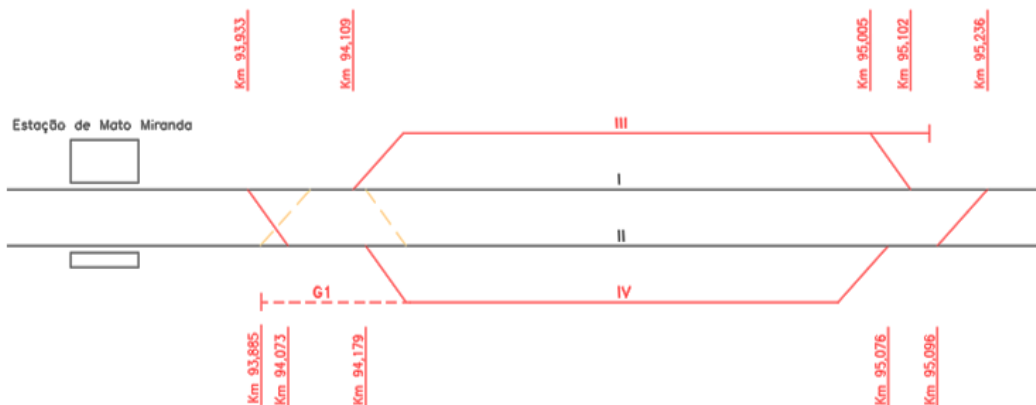
### 3.3.1 Superestrutura de Via e Catenária

- Estação de Vale de Figueira (Figura 3-2):
  - Substituição de 2 Aparelhos de Mudança de Via (AMV), ao Pk 84+700, sendo que estes constituem uma comunicação (COM);



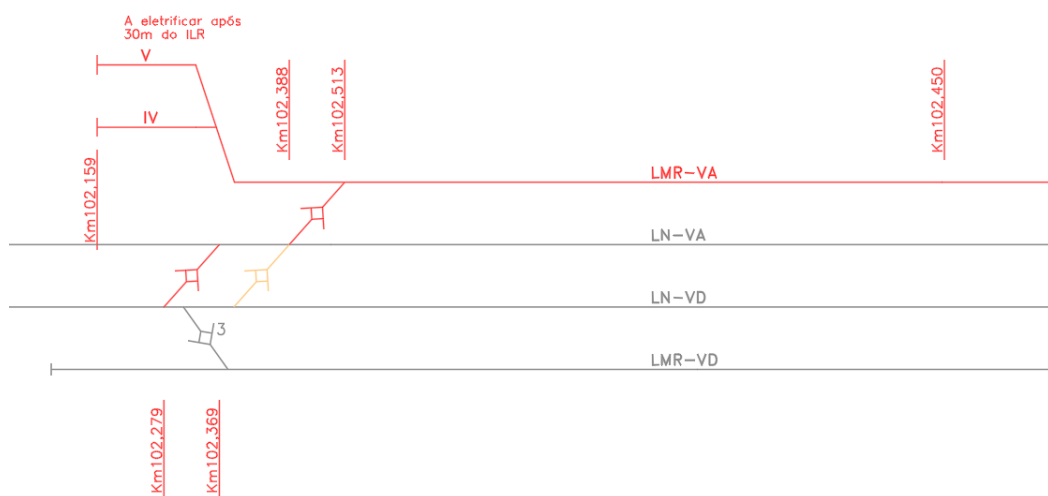
**Figura 3-2 – Intervenção na Estação de Vale de Figueira**

- Mato de Miranda (Figura 3-3):
  - Criação de duas novas Linhas de Resguardo, concretamente a Linha III aproximadamente entre o Pk 94+179 e o Pk 95+706 e a Linha IV aproximadamente entre o Pk 94+109 e o Pk 95+102;
  - Criação de 2 topos em cada uma das linhas mencionadas anteriormente;
  - Levantamento dos AMV existentes e assentamento de 10 novos, sendo que destes, 8 traduzem-se em 4 comunicações.



**Figura 3-3 – Linhas de Resguardo em Mato de Miranda**

- Entre Riachos e o Entroncamento (Figura 3-4):
  - Construção de uma nova linha “Mãe de Ramais”, eletrificada, aproximadamente entre o Pk 102+123 e o Pk 104+540;
  - Deslocação da diagonal existente na saída da Estação de Riachos para o pk 102+279 / 102+369;
  - Na Estação de Riachos serão eletrificadas cerca de 30 m após o Indicador Limite de Resguardo (ILR), de forma a permitir a exploração elétrica.



**Figura 3-4 – Riachos - Linha Mãe de Ramais**

### 3.3.2 Requalificação da Estação de Mato de Miranda

- Plataformas de Passageiros (Figura 3-5):
  - Alçamento/prolongamento da plataforma do lado da VA;
  - Repavimentação da plataforma de passageiros do lado da VD;
  - Instalação de abrigos de passageiros, em betão armado, nas 2 plataformas.
- Supressão do atual Atravessamento de Nível existente a sul das plataformas:
  - Construção de uma Passagem Superior de Peões (PSP) ao Pk 93+636 para ligação entre as plataformas de passageiros, permitindo igualmente os atravessamentos pedonais de transeuntes sobre a via-férrea.
- Arranjos exteriores:
  - Reformulação do Largo da Estação existente em frente ao EP;
  - Aumento do parque de estacionamento e reorganização dos acessos.

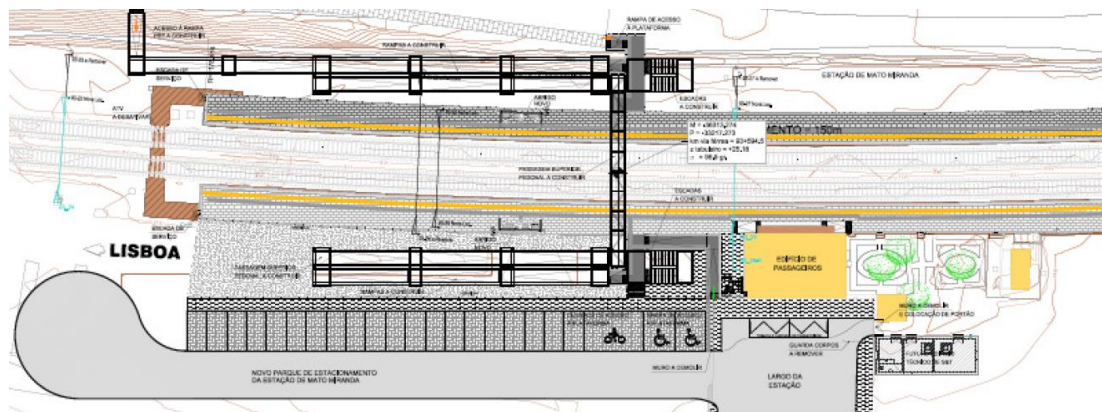


Figura 3-5 – Estação de Mato de Miranda – Plataformas de passageiros, PSP e arranjos exteriores

- Edifício de Passageiros (EP):
  - Reabilitação da fachada do edifício.
- Supressão da Passagem de Nível Rodoviária (PNR) existente ao Pk 93+466
  - Construção ao Pk 93+260 de uma Passagem Superior Rodoviária (PSR) (Figura 3-6);
  - Construção de uma Passagem Inferior Agrícola (PIA) (Figura 3-7) integrada na mesma PSR.

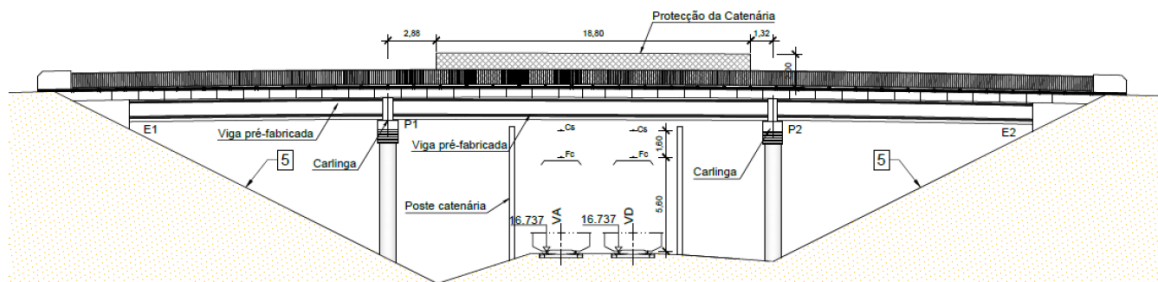


Figura 3-6 – Corte Longitudinal Passagem Superior Rodoviária

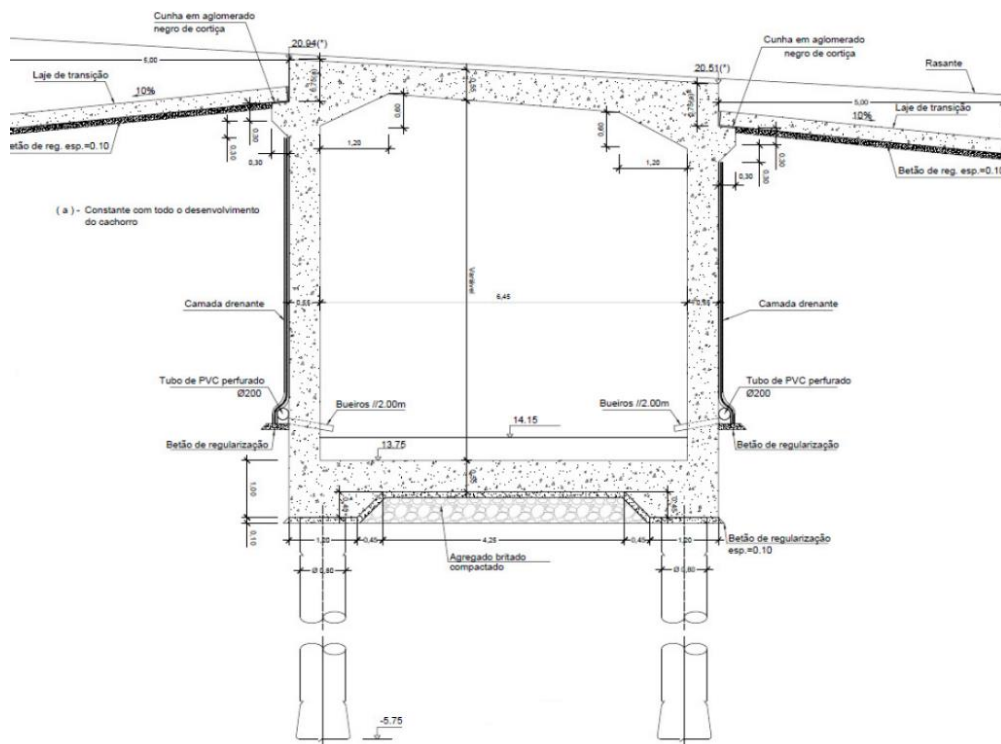


Figura 3-7 – Corte transversal Passagem Inferior Agrícola

### 3.3.3 Terminal das Areias na Linha IV na estação de Riachos

- Construção de muro de suporte nesta linha de topo, incluindo a execução das contenções provisórias (Figura 3-8).



Figura 3-8 – Muro existente a requalificar e ampliar no terminal de areias de Riachos [30]

A intervenção nesta estrutura de contenção decorre não só da sua interferência com a nova posição das linhas, mas igualmente pelo aumento da extensão da linha de Topo V.

### 3.3.4 Acessibilidades

- Caminho paralelo 1 para permitir os acessos à PSP a construir na Estação de Mato de Miranda:
- Caminhos paralelos 2 e 3 para assegurar a continuidade de caminhos municipais, paralelos às novas linhas de resguardo na Estação de Mato de Miranda (linhas III e IV);
- Caminho de acesso à futura Zona Neutra, a implantar aproximadamente ao Pk 100+800;

- Caminho de Emergência 1, entre as estações de Riachos e do Entroncamento.

### 3.3.5 Passagens Hidráulicas (PH)

- Prolongamento de PH ao Pk 93+983;
- Prolongamento de duas PH na proximidade do Pk 103+700 (Figura 3-9).

A intervenção prevê a reabilitação das PH existentes e o respetivo prolongamento, através de quadros fechados com a mesma secção, pelo que a intervenção junto à via se resume à construção de novas secções e a sua ligação às existentes sem necessidade de considerar contenções pesadas e complexas.

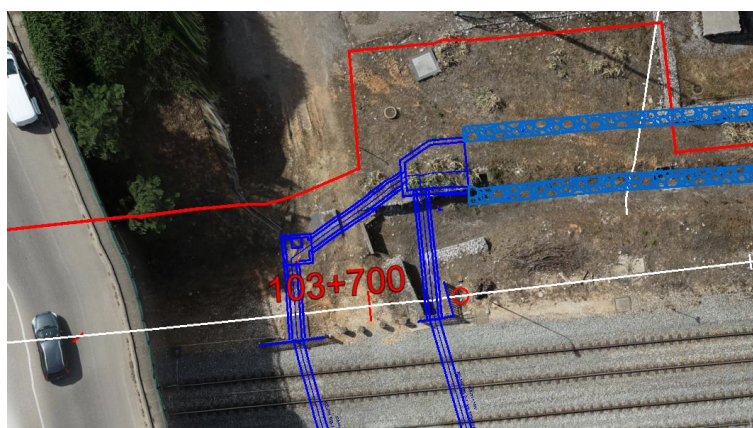


Figura 3-9 – PH a prolongar na proximidade do PK 103+700

Trata-se de uma intervenção com alguma complexidade que envolve a necessidade de recurso a contenções provisórias (Figura 3-10), as quais decorrem da proximidade desta zona à Linha do Norte, que terá de se manter em exploração.

Pese a construção das referidas contenções provisórias, a circulação na Linha do Norte, embora assegurada, será objeto de alguns condicionamentos, nomeadamente no que se refere à redução da velocidade máxima a praticar na zona.

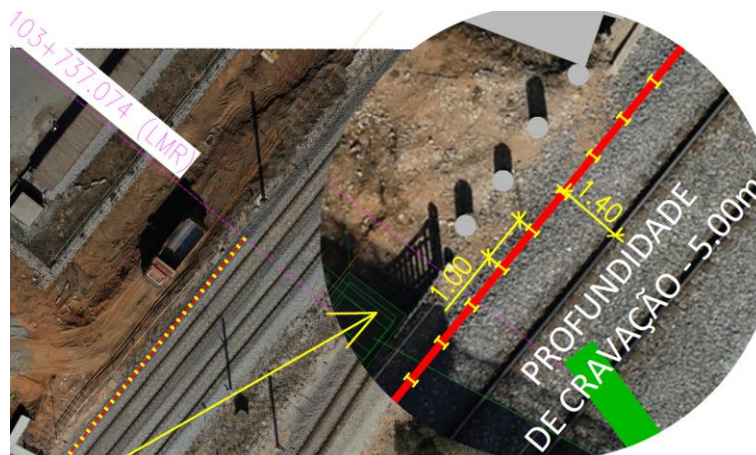


Figura 3-10 – Contenção provisória para a execução das PH e de blocos técnicos (Pk 103+700)

### 3.4 Condições de exploração

Tratando-se de uma linha existente e em que é necessária assegurar a continuidade da sua exploração durante a intervenção, a IP enquanto gestora da Infraestrutura definiu no Caderno de Encargos do Concurso as chamadas condições de exploração, as quais estão diretamente ligadas à Instrução Técnica de Exploração n.º 77 (IET77) devidamente articuladas com as Medidas de Segurança (MS) nela previstas e que se apresentam na Tabela 3-2.

**Tabela 3-2 – IET 77 – Medidas de Segurança**  
**[31]**

Medida de Segurança	Ações
MS – 8	Interdição de via onde decorre a intervenção
MS – 9	Interdição de via contígua à via onde decorre a intervenção
MS – 10	Corte de tensão elétrica na Catenária e / ou “Feeder” na via onde decorre a intervenção
MS – 11	Corte de tensão elétrica na Catenária e / ou “Feeder” na via contígua à via onde decorre a intervenção

Assim, foram considerados os seguintes princípios:

- Os trabalhos são executados em período noturno;
- Disponibilização de 2 tipos de interdição, concretamente:

**a) Períodos de Interdições de Via concedidos semanalmente**

- Cerca de 4h30m consecutivas na VA ou na VD entre Santarém (exclusive) / Mato de Miranda (exclusive);
- Cerca de 4h30m consecutivas na VA ou na VD entre Vale de Figueira (exclusive) / Entroncamento (exclusive);
- Cerca de 10h00m consecutivas no troço da Linha Mãe de Ramais a construir do lado da via ascendente entre Riachos e Entroncamento. Período de interdição de via a considerar após a entrada ao serviço da Linha Mãe de Ramais, na fase 3 dos trabalhos entre Riachos e Entroncamento.

**b) Períodos de Interdições de Via especiais, para:**

- A realização de trabalhos com comprovada justificação, nomeadamente trabalhos nos pórticos da catenária, 80 interdições de via com corte de tensão em 7 noites por semana, entre Santarém (exclusive) / Mato Mirando (exclusive) ou entre Vale de Figueira (exclusive) / Entroncamento (exclusive), com as seguintes durações:
  - 23h50m/00h50m – VA ou VD;
  - 00h00m/04h20m – VA + VD.

- A realização dos trabalhos com comprovada justificação, nomeadamente de tratamento de plataforma, montagem de Comunicações, montagem de AMV e trabalhos nos pórticos da catenária, 16 interdições de via com corte de tensão na noite de sábado/domingo, entre Santarém (exclusive) / Mato Mirando (exclusive) ou entre Vale de Figueira (exclusive) / Entroncamento (exclusive), com as seguintes durações:
  - 19h30m/23h30m – VA ou VD;
  - 23h30m/07h30m – VA + VD;
  - 07h30m/11h30m – VA ou VD.
- A realização dos trabalhos com comprovada justificação, nomeadamente de tratamento de plataforma, montagem de Comunicações, montagem de AMV e trabalhos nos pórticos da catenária, serão concedidas 14 interdições de via com corte de tensão na noite de sábado/domingo, entre Santarém (exclusive) / Mato de Miranda (exclusive) ou entre Vale de Figueira (exclusive) / Entroncamento (exclusive), com as seguintes durações:
  - 22h00m/23h30m – VA ou VD;
  - 23h30m/07h30m – VA + VD;
  - 07h30m/11h30m – VA ou VD.

Associadas a estas condições de exploração, definiram-se igualmente os chamados atrasos teóricos, sendo estas traduzidos pela aplicação da expressão (3.1).

$$t = \frac{(V_N - V_R)}{3.6} \times (2.2 - 0.0105 \times V_R) + 3.6 \times (L_R + 150) \times \left( \frac{1}{V_R} - \frac{1}{V_N} \right) \quad (3.1)$$

Em que:

- $t$  – Tempo (s);
- $V_N$  – Velocidade Normal (km/h);
- $V_R$  – Velocidade Reduzida (km/h)
- $L_R$  – Extensão afetada (m).

Definiu-se, ainda, que para os trabalhos previstos, o somatório dos atrasos teóricos dos afrouxamentos, ou seja, reduções de velocidade relativamente à velocidade de exploração normal, não pode ultrapassar:

- Entre o 1º e 14º mês do prazo da empreitada: 5 (cinco) minutos;
- Entre 15º e 18º mês do prazo da empreitada: 3 (três) minutos.

Dado que o não cumprimento dos limites mencionados anteriormente implica a aplicação de multas para a entidade executante, a mesma terá inevitavelmente de fazer uma gestão muito rigorosa dos recursos envolvidos e dos rendimentos na execução.

### **3.5 Faseamento Construtivo**

O projeto patenteado a concurso, com base nos trabalhos previstos e as condições de exploração estabelecidas pelo Dono de Obra, contemplava um faseamento construtivo, sendo que o mesmo tem como função a assegurar a viabilidade de execução da intervenção e definir um prazo de execução da mesma (18 meses / 540 dias).

Como é usual, a entidade executante da futura empreitada, na sua proposta, poderá apresentar uma solução alternativa de faseamento, devidamente ajustada aos recursos (materiais e humanos) que pretende envolver, sendo pressuposto que as condições de exploração se mantêm inalteradas, o que efetivamente veio a ser considerado.

Em seguida procede-se a uma descrição sumária do faseamento apresentado no projeto.

#### **a) Estação de Vale de Figueira**

- FASE I
  - Ajuste do perfil longitudinal e ripagem da VD e da via auxiliar;
  - Ajuste de catenária na VD e na via auxiliar, sem colocar em causa a exploração da Linha do Norte.
- Fase II
  - Substituição da COM 2I/2II;
- Fase III
  - Regulação da via na VA e VD.
- FASE IV
  - Ataques pesados de regularização definitivos na VA e VD.

#### **b) Estação de Mato de Miranda**

- FASE I
  - Instalação dos novos postes de catenária da Linha do Norte para criação das condições necessárias para a execução das Linhas III e IV na Fase 2, mantendo a exploração ferroviária.
- FASE II
  - Instalação e eletrificação das Linhas de Resguardo;
  - Alterações na catenária para viabilizar a construção da nova Passagem Superior Pedonal na Estação de Mato de Miranda.

- FASE III
  - Eletrificação da COM 2I / 2II e execução das novas SLA/ZC da Linha do Norte na saída das Linhas de Resguardo.
- FASE IV
  - Levantamento da COM 4I / 4II e eletrificação da nova COM 1I / 1II
- FASE V
  - Levantamento COM existente 2II / 2I.
- FASES VI e VII
  - Execução dos trabalhos restantes na Linha do Norte, nomeadamente o SLA na VD ao pk 93+953, o SLA na VA ao Pk 94+313 e a ZC na VD ao Pk 94+313 e ainda a deslocação do Posto de Catenária.
- FASE VIII
  - Ataques pesados de regularização definitivos nas vias intervencionadas.

### **c) Riachos / Entroncamento**

- FASE I
  - Instalação dos novos postes de catenária da Linha do Norte e criação das condições necessárias para a execução da Linha Mãe de Ramais em particular na Estação de Riachos e na Passagem Superior ao Pk 103+680, sem mantendo a exploração da Linha do Norte
- FASES II e III
  - Instalação e eletrificação da Linha Mãe de Ramais mantendo a Linha do Norte em exploração. Considera-se também nesta fase a instalação dos novos “Feeder” entre a SST e a nova Zona Neutra.
- FASE IV
  - Eletrificação da COM 6II / 6I e remoção da ligação da Linha do Norte à Linha de Topo na Estação de Riachos. Durante esta fase serão também executadas as alterações das novas SLA, ZN e ZC da Linha do Norte.
- FASE V
  - Conclusão da remoção da ligação da Linha do Norte à Linha de Topo na Estação de Riachos.
- FASE VI
  - Eletrificação da COM 2II / 2I e execução dos trabalhos restantes na Linha do Norte, incluindo a colocação em serviço da nova Zona Neutra e das novas SLA.
- FASE VII
  - Realização dos ensaios e regulações finais nos troços intervencionados, incluindo a nova Linha Mãe de Ramais.

## **4 A EMPREITADA**

O concurso que deu origem à empreitada em curso, foi publicado no Diário da República Número 16, de 24 de janeiro de 2022, com o preço base de 21,500,000.00 Euros. A proposta foi apresentada no dia de 11 de abril de 2022. O início previsto dos trabalhos em fase de concurso foi considerado o janeiro de 2023.

A consignação foi assinada, no dia 27.03.2024 e os trabalhos tiveram início nesse mesmo dia.

### **4.1 Faseamento construtivo proposto em concurso e adotado em obra**

Após a análise ao projeto patenteado a concurso, a empresa apresentou atendendo aos recursos que pretendia alocar à empreitada, uma proposta alternativa de faseamento para a intervenção, mantendo, no entanto, conforme referido em 3.5 as condições de exploração estabelecidas pelo dono de obra.

Embora a proposta alternativa contemple um prazo igual ao definido em projeto (540 dias), a mesma considere diferentes prazos parciais e ainda alguns ajustamentos, nomeadamente no que se refere à forma e à localização espacial das intervenções.

A proposta de faseamento apresentada e que foi considerada em obra, no âmbito da referida adjudicação, é constituída pelas seguintes fases para cada uma das zonas a intervencionar.

#### **a) Estação de Vale Figueira**

- Fase 1 (Ajuste VD e via auxiliar);
- Fase 2 (Substituição da COM 2I/2II);
- Fase 3 (Regulação da via, VA e VD);
- Fase 4 (trabalhos finais na catenária).

#### **b) Estação de Mato de Miranda (no canal ferroviário)**

- Fase 1 (Montagem do AMV 3I, AMV 4I, AMV5 e AMV6);
- Fase 2 (Montagem AMV 3II, AMV 4II, Linhas III, IV e topos III e IV e para-choques);
- Fase 3 (Montagem da COM 2I-2II);
- Fase 4 (Desmontagem da COM 4I-4II e montagem da COM 1I-1II);
- Fase 5 (Desmontagem COM 2I-2II);
- Fase 6 (Regularização da VA);
- Fase 7 (Regularização da VD) + FASE 8 (Situação final).

### **c) Estação de Riachos**

- Fase 1 (Substituição AMV50 e ajuste perfil longitudinal);
- Fase 2 (Montagem LMR, AMV2I, AMV4 e linha V);
- Fase 3 (Conexão de terminal de Areias e levantamento linha V);
- Fase 4 (Desmontagem AMV4 e montagem da COM 6I-6II);
- Fase 5 (Desmontagem da COM 2I-2II e montagem do AMV 2II);
- Fase 6 (Montagem linha IV e para-choques);
- Fase 7 (Regulação da via) + FASE 8 (Situação final).

### **d) Estação de Mato de Miranda (exterior ao canal ferroviário)**

- Caminhos e Estruturas:
  - Restabelecimento 1 (en365-4, PSR pk 93+260);
  - Caminho paralelo 1 (pk 94+080 - pk 94+850, lado esquerdo);
  - Caminho paralelo 2 (pk 95+100 - pk 95+400, lado esquerdo);
  - Caminho paralelo 3 (pk 94+900 - 95+100, lado direito);
  - Passagem Agrícola ao pk 0+428 do Restabelecimento 1;
  - PSR ao pk 93+216 (restabelecimento 1);
  - PSP ao pk 93+596.
- Edificações e Serviços Afetados:
  - Cais de passageiros da estação de Mato de Miranda;
  - Edifício da Estação de Mato de Miranda ao pk 93+655;
  - Novo parque de estacionamento da estação de Mato de Miranda;
  - Serviços afetados;

### **e) Estação de Riachos (exterior ao canal ferroviário)**

- Caminhos e Estruturas:
  - Acesso à zona neutra (pk 100+786 - pk 100+832, lado dir.).
  - Caminho de emergência (pk 102+120 - pk 103+637, lado esq.).
  - PH 103-1-1 ao pk 103+695
  - PH 103-2-1 ao pk 103+704.
- Edificações e Serviços Afetados:
  - Edifício da Zona Neutra pk 100+800
  - Serviços Afetados

No decorrer dos trabalhos constatou-se que a data prevista inicialmente para finalização da empreitada não será cumprida, uma vez que têm surgido imprevistos exteriores à entidade executante que a impedem de executar a obra no prazo previsto na proposta, designadamente os indicados em seguida.

- Alteração do calendário de entrega de AMV: para se cumprir as datas contratuais relativas às montagens e assentamento de AMV, os mesmos devem ser entregues com uma antecedência de 5 – 10 dias úteis. Na Tabela 4-1 pode-se verificar as datas reais de entrega dos AMV, até a data da elaboração do presente relatório de estágio.

**Tabela 4-1 – Datas de entrega dos AMV**

AMV	Data prevista da entrega	Data aplicação conforme PT	Data real de entrega	Dias atraso
<b>Vale de Figueira</b>				
AMV 2I/2II	29/04/2023	13/05/2023	15/05/2023	16
<b>Mato de Miranda</b>				
AMV 3I	16/07/2023	23/07/2023	18/01/2024	186
AMV 5	23/07/2023	30/07/2023	09/11/2023	109
AMV 6	06/08/2023	13/08/2023	24/01/2023	171
AMV 4I	13/08/2023	20/08/2023	05/12/2023	114
<b>Riachos</b>				
AMV 50	25/06/2023	20/07/2023	27/09/2023	94

- Atraso na emissão de licença para o abate de árvores de espécie protegida isoladas e de povoamento, que no plano de trabalhos estava previsto para 27 de março de 2023, tendo a mesma sido emitida no dia 31 de agosto de 2023. A inexistência desta licença impossibilitou o cumprimento das datas contratuais com impacto no início dos trabalhos de terraplenagem.
- Greves convocadas e realizadas por parte da IP.
- Achados arqueológicos encontrados na plataforma da Linha III e Linha IV de resguardo na frente de trabalho de Mato de Miranda.

Efetivamente nesta frente de trabalho foram encontrados e documentados artefactos que apresentavam origem na pré-história, sendo que de tal ocorrência resultou a necessidade de realização de 16 sondagens ao longo da linha III e de 5 sondagens na linha IV, realizadas por escavação manual.

Todo este processo decorreu até ao dia de 20 de maio de 2024, situação que não permitiu executar os trabalhos de terraplenagem e de outras atividades inerentes à mesma (drenagem transversal e longitudinal, maciços de catenária e caminhos de cabos) de uma forma contínua.

Relativamente aos resultados do impacto no programa de trabalhos geral, constata-se que com a informação existente à data da elaboração do presente relatório, a conclusão da Empreitada transitará de 16 de setembro de 2024 para 10 de abril de 2025, o que se traduz num atraso de 206 dias.

Tendo em consideração a complexidade das atividades e quantidade das mesmas, na parte exterior ao corredor ferroviário em exploração procurou seguir-se o faseamento proposto em fase de concurso, com os ajustamentos decorrentes dos atrasos inerentes aos imprevistos que surgiram e que não são da responsabilidade da entidade executante.

## **4.2 Processo de erros e omissões, reorçamentação da obra**

### **4.2.1 Erros e Omissões**

Cada vez mais a legislação que regula os concursos de obras públicas é restritiva, tornando-se uma matéria muito exigente e sensível para os empreiteiros. O processo de Erros e Omissões é estruturado e regulado pelo Código de Contratos Públicos (CCP), com mecanismos claros para identificação e correção de eventuais falhas que podem pôr em causa o interesse público e complicar ou inviabilizar a execução eficiente dos contratos.

A deteção de Erros e Omissões em fase de concurso permite evitar derrapagens orçamentais e de prazos na execução do contrato. Segundo o CCP, na sua atual redação, o processo de Erros e Omissões pode ser estruturado em 3 fases:

1. Deteção de Erros e Omissões em fase pré-contratual (suprimento dos erros suportado na totalidade pelo dono de obra);
2. Deteção de Erros e Omissões no prazo de 60 dias após a consignação da obra (o empreiteiro suporta metade do valor do suprimento de erros e omissões);
3. Deteção de Erros e Omissões no decorrer da obra (o empreiteiro suporta metade do valor do suprimento de erros e omissões).

A metodologia adotada para a realização do processo Erros e Omissões foi a seguinte:

- Realização de uma revisão técnica exaustiva dos projetos das especialidades, confrontação dos elementos de projeto com a realidade obtida com recurso a novas tecnologias;
- Medição dos materiais e quantidades de trabalhos a efetuar;
- Verificação e comparação das fichas de rendimento com a definição dos preços unitários da empreitada;
- Produção de mapas comparativos e elaboração de pedidos de esclarecimentos.

Após o fecho de todo o processo, foi apresentada ao Dono de Obra a valorização de todos os trabalhos de supressão de Erros e Omissões, assim como os prazos de execução dos mesmos.

O resultado deste processo originou trabalhos a mais e omissões em cerca de 1% e trabalhos novos em cerca de 2.4% (trabalhos com preços novos) do valor do preço base que está refletido na Tabela 4-2.

**Tabela 4-2 – Resultado do processo de Erros e Omissões na empreitada**

Rubrica	Designação	%
<b>Erros</b>		
F.01.01	Plataforma de via-férrea	0.11
F.01.02	Drenagem	0.23
F.01.04	Vedações	0.01
F.02.05	Passagens desniveladas	0.01
F.07.01	Catenária	0.01
F.07.02	Subestações, Postos de Catenária e Postos de Zona Neutra	0.17
R.01.02.07	Regularização de taludes de aterro	0.12
	Total Erros	0.66
<b>Trabalhos Novos</b>		
Omissão	Escarificação em materiais de elevada resistência com uma profundidade de 0,15 m em Plataforma da Via, incluído transporte a vazadouro autorizado	Incluído na DPU
F.06.02.01.01.11	Fornecimento e instalação de canaleta(s) s/septo + 3 monotubos PEAD 40 mm + Instalação CDTE_TVST5	2.10
Omissão	Fornecimento e Instalação de 2 tubos PEAD 110 mm + 6 monotubos PEAD 40 mm a instalar sem Instalação CDTE_TVST9.3	
Omissão	Fornecimento e Instalação de 3 tubos PEAD 110 mm + 6 monotubos PEAD 40 mm a instalar + Instalação	
Omissão	Boletim de Identificação e Localização de cabos de Telecomunicações (BILC TEL)	0.06
F.07.01.01.06	Construção de maciços de amarração em betão simples C16/20.S2:NE.D25	0.26
	Total Trabalhos Novos	2.44

Além do processo de Erros e Omissões que originou o excedente indicado na Tabela 4-2, no decorrer da execução foram detetadas omissões e situações que nas fases antecedentes à de execução eram impossíveis de prever, designadamente:

- Demolições de estruturas existentes soterradas (Linha Mãe dos Ramais em Riachos);
- Variação de nível freático e solos com baixa capacidade de suporte, devido a explorações agrícolas intensivas nas imediações da obra (Linha III, Linha IV em Mato de Miranda e Restabelecimento 2), que em combinação com solos com baixa capacidade de suporte originou a necessidade de introdução de uma camada de reforço adicional;
- Entulho (Restabelecimento 2 e nova zona neutra) e resíduos provenientes do carvão queimado nas caldeiras que foi encontrado em abundância no talude da Linha Mãe dos Ramais em Riachos;

- Tratamento de fundação na via principal nas interdições, decisões de execução destes trabalhos tomadas na hora, no local dos trabalhos com o dono de obra e fiscalização;
- O projeto de execução dos caminhos de cabos não correspondia às necessidades da obra. Após uma avaliação conjunta com o dono de obra, empreiteiro geral e entidade fiscalizadora foi decidido a emissão de um novo projeto para especialidade mencionada.
- Compatibilização de drenagem longitudinal;
- Outros trabalhos na construção civil, catenária e superestrutura de via.

#### **4.2.2 Reorçamentação da obra**

Até o início dos trabalhos de uma empreitada, esta está numa fase de processo comercial, que pode demorar um ano ou mais, no caso de grandes projetos públicos.

É usual neste tipo de empreitadas, que o início da obra ocorra muitos meses após ter sido efetuado o orçamento que definiu o preço final para concorrer ao procedimento.

Em conformidade com o CCP, as etapas pelas quais tem de passar um procedimento de empreitada em concurso público, sem negociação das propostas, são, resumidamente:

- Publicação do anúncio da empreitada no Diário da República e, eventualmente, também no Jornal Oficial da União Europeia, sendo as peças que constituem o procedimento publicadas na plataforma eletrónica contratada pela entidade adjudicante, na qual seguirão os trâmites do concurso;
- A fase de apresentação de propostas tem início após esse anúncio, decorrendo no primeiro terço do prazo a janela temporal para pedidos de esclarecimento e apresentação de erros e omissões pelos interessados no concurso; um atraso da entidade adjudicante na prestação de esclarecimentos ou na resposta aos erros e omissões invocados pelos concorrentes, provocará um prolongamento do prazo de apresentação das propostas;
- Abertura e análise das propostas, num período variável em função da complexidade do concurso e da entidade que está a promover o mesmo; saliente-se aqui que as propostas têm um período de validade, normalmente definido em caderno de encargos, após o qual o concorrente tem o direito de não assumir a sua proposta;
- O júri comunica aos concorrentes o seu relatório preliminar com a lista ordenada das propostas concorrentes, bem como dos concorrentes excluídos e respetiva fundamentação, o qual pode ser objeto de contestação pelos concorrentes no prazo definido para o efeito no programa do concurso; se tal acontecer, o júri pronunciar-se-á num segundo relatório que, caso não altere substancialmente a decisão inicial, será o último; caso contrário, é ainda passível de contestação sobre a qual o júri se pronuncia

no relatório final (ressalve-se que este relatório é, naturalmente, passível de contestação no tribunal do foro competente por concorrentes inconformados com a decisão);

- O órgão da entidade adjudicante com a devida competência deverá então manifestar a sua concordância com o relatório do júri (o que geralmente acontece, mas pode não suceder) e manifestar ao concorrente vencedor a intenção de adjudicação;
- O concorrente deve então apresentar os documentos de habilitação e prestar caução em conformidade com o disposto no programa do concurso, bem como manifestar a sua opinião sobre a minuta de contrato que a entidade adjudicante submeter;
- A assinatura do contrato deve ocorrer no prazo de 30 dias;
- A consignação deverá ser assinada em idêntico prazo, começando de imediato a decorrer o prazo de execução da empreitada.

Com base no acima descrito, atentos os prazos estipulados no CCP e os usualmente constantes dos programas de concurso, o início de uma obra pode demorar no mínimo uns 6 a 7 meses, desde que o procedimento se iniciou. Usualmente, são 9 meses [32].

Estes aspetos são de uma elevada importância, pois exigem à direção da obra a elaboração de um novo orçamento logo de seguida ao “Transfer interno” (Passagem do orçamento realizado pelo departamento comercial à produção). Desde o lançamento de concurso até o arranque da obra, muito pode ter sido alterado relativamente ao momento da orçamentação e de outros fatores que influenciam os gastos com a execução [32].

Reorçamentar uma obra pública é uma prática essencial na gestão de projetos, especialmente em contextos onde a transparência, a eficiência na utilização de recursos e o cumprimento dos prazos estabelecidos são cruciais. Este processo envolve uma revisão e ajuste detalhados do orçamento inicialmente aprovado, tendo em conta uma série de fatores que podem ter um impacto significativo nos custos e na execução do projeto.

A reorçamentação da obra tem por finalidade:

- Aferir os preços secos dados pelo departamento Comercial da empresa e verificar se inclui todos os recursos das atividades com os rendimentos mais aproximados da realidade;
- Inclusão das quantidades reais verificadas no processo de Erros e Omissões;
- Adaptar o orçamento às novas consultas das subempreitadas de especialidade com entidades concretas, objetivo desta atividade é conseguir um preço sempre abaixo do contratual.

Complementa-se o Reorçamento de obra com:

- Ajuste do plano dos trabalhos;

- Inflação e flutuação dos preços dos materiais;
- Afetação de Mão de Obra especializada conforme as atividades específicas;
- Afetação dos resíduos encontrados no recinto da obra;
- Ambiente (tratamento de resíduos encontrados no recinto da obra);
- Impacto da arqueologia na empreitada;
- Identificação dos riscos que eventualmente poderão afetar o prazo da obra (ex.: fenômenos climáticos adversos e outros);
- Reserva de contingências;
- Otimização e reajuste dos recursos;
- Criação de um novo cronograma financeiro baseado no Reorçamento.

Após a reorçamentação da empreitada foi possível concluir que, para a entidade executante, a obra será deficitária. Para tentar minimizar este impacto negativo foram delineadas as seguintes estratégias:

- Reclamar sobre rendimento do balastro em função da medição teórica na intervenção em linhas existentes, dado que nesta atividade é quase impossível quantificar (o balastro aplicado tendo em consideração o volume que se perde entre as várias etapas que a constituem);
- Reclamação nos atrasos da entrega dos AMV;
- Reclamação do impacto da arqueologia na empreitada;
- Reclamação sobre o rendimento do sub-balastro em função da medição teórica.

#### **4.3 Principais intervenções na empreitada (Via-férrea, catenária e tratamento da plataforma)**

Na presente empreitada a intervenção em linhas gerais existentes em exploração, tem como principal objetivo o tratamento de plataforma, o que engloba levantamento de carris e travessas existentes, eventual reforço de plataforma com Sub-balastro e geotêxtil.

Estas atividades são realizadas em interdições de longa duração, sempre no fim de semana:

- 19h30m/23h30m – VA ou VD;
- 23h30m/07h30m – VA + VD;
- 07h30m/11h30m – VA ou VD.

Trabalhos preparatórios:

- Execução de cortes e furação de carril para criação de juntas mecânicas;
- Colocação de fiadores.

Após os trabalhos preparatórios estão implementadas limitações de velocidade (que se mantém até colocação do novo armamento de via, soldaduras, piquetagem definitiva, regularização de pórticos e consolas da catenária).

Os trabalhos previstos na intervenção nas linhas existentes, englobam as seguintes atividades:

- Via-Férrea;
- Catenária;
- Terraplenagem.

Regra geral, a sequência de trabalho na intervenção em vias existentes e em exploração, como é o caso, é a seguinte:

- Levantamento do armamento da via existente ou levantamento de AMV a anular ou substituir;
- Remoção do balastro existente;
- Escarificação/escavação da plataforma até alcançar as cotas de projeto de fundo de caixa. Execução da camada de reforço (se o calo de via não apresentar condições adequadas de suporte, verificação que se faz com a passagem dos rodados dos camiões) envolvida em geotêxtil com uma espessura de 0,30m mais uma camada de Sub-balastro de 0,15m;
- Aplicação de balastro
- Assentamento de via em traçado provisório;
- Levantamento de via em traçado provisório;
- Montagem do AMV novo e renovação de via a montante e jusante dos AMV;
- Descargas de balastro e Ataques pesados de enchimento e regularização até alcançar a cota de -0,02m da cota de projeto;
- Execução das soldaduras aluminotérmicas;
- Ataque definitivo e estabilização dinâmica;
- Regularização das barras;
- Regulação da catenária;
- Piquetagem definitiva e elaboração das telas finais.

Em seguida, de forma resumida procede-se à descrição de algumas das atividades mencionadas, bem como à indicação dos recursos (humanos e materiais) usualmente envolvidos.

#### 4.3.1 Trabalhos de via

O **levantamento do armamento de via existente** inicia-se com a marcação dos cortes no carril a retirar, com a aprovação da Fiscalização, normalmente são troços que não ultrapassam os 18 metros lineares no caso das travessas bi-bloco e 12 metros no caso das travessas monobloco, sendo usualmente utilizados os recursos identificados na Tabela 4-3.

**Tabela 4-3 – Recursos para o levantamento de via-férrea**

<b>Mão de obra</b>		<b>Equipamentos</b>	
2	Oficial de Via	1	Máquina rodoferroviária
1	Auxiliar de Via	1	Retroescavadora
1	Condutor	1	Tirefonadora
1	Manobrador de Via	1	Máquina de impacto
		1	Motodisco de carril
Rendimento teórico		130m / dia	

O **levantamento de um AMV**, regra geral envolvendo os recursos indicados na Tabela 4-4, compreende a execução das seguintes tarefas:

- Numeração prévia com tinta branca em todas as travessas, do lado do ramo direito, desde a JCL à JTC e das juntas de carril;
- Marcação com tinta branca, na partilha do carril a localização dos parafusos que seguram a fixação;
- Desmontagem do AMV;
- Desmontagem dos aparelhos de manobra, aferrolhamentos, transmissões e seu armazenamento para posterior entrega, incluindo a aplicação de óleo ou outro lubrificante que ajude a desmontagem, estando interdito o corte dos parafusos;
- Em AMV soldados os cortes a efetuar tem de ser efetuados com base nas Condições Técnicas;
- Carga, transporte, armazenamento e acondicionamento provisórios de todos os elementos constituintes do AMV;
- Levantamento de estacas limite (Indicadores de Limite de Resguardo).

**Tabela 4-4 – Recursos para o levantamento de AMV**

<b>Mão de obra</b>		<b>Equipamentos</b>	
2	Assentador de via	2	Máquina rodoferroviária
2	Auxiliar de Via	1	Retroescavadora
1	Condutor	2	Tirefonadora
1	Manobrador de Via	2	Máquina de impacto
4	Motorista de pesados	2	Motodisco de carril
		1	Camião basculante
Rendimento teórico		2 un / dia	

A seguir executam-se os trabalhos **de tratamento do calo de via e aplicação da camada de sub-balastro**, cuja função é garantir o bom comportamento da via do ponto de vista da sua rigidez, nivelamento e drenagem, serve como proteção contra os agentes erosivos da plataforma, garantindo o escoamento das águas pluviais para os órgãos da drenagem periférica longitudinal.

Antes do início dos trabalhos tem de ser criada uma malha de referência que define a superfície acabada tanto em planimetria como altimetria. Uma vez estabelecida a referência da execução da camada, efetua-se a descarga do material de ABGE na plataforma. O espalhamento e acerto para as larguras e cotas de projeto é feito com recurso a uma motoniveladora. A compactação da camada é feita com o cilindro compactador, antes da aplicação de balastro é aplicada uma manta de geotêxtil de reforço.

A execução da cama de sub-balastro e da aplicação da manta de geotêxtil envolve os recursos apresentados respetivamente na Tabela 4-5 e na Tabela 4-6.

**Tabela 4-5 – Recursos para execução da Camada Sub-balastro**

<b>Mão de obra</b>		<b>Equipamentos</b>	
2	Condutor	1	Camião basculante
1	Motorista	1	Cilindro compactador
2	Servente	1	Motoniveladora
Rendimento teórico		700m <sup>3</sup> / dia	

**Tabela 4-6 – Recursos para aplicação de manta geotêxtil**

<b>Mão de obra</b>		<b>Equipamentos</b>	
2	Oficial de 1 <sup>a</sup>		
2	Servente		
Rendimento teórico		650m <sup>2</sup> / hora	

A **camada de balastro** contribui para garantir o bom comportamento da via do ponto de vista da rigidez, do nivelamento e da drenagem e, é considerada parte da superestrutura. A espessura mínima de balastro a aplicar abaixo da geratriz exterior inferior da travessa é 0,25 m, na prumada do carril da fila baixa.

Esta atividade que envolve os recursos indicados na Tabela 4-7, consiste na realização do fornecimento, transporte e descarga de balastro com recurso a camiões basculantes dotados com espalhadora de balastro, no caso quando o armamento de via está ausente, e com recurso a balastreiros na presença de traçados provisórios/definitivos.

Na ausência de armamento de via garante-se sobre a plataforma uma lâmina de 0,10m-0,15m de espessura sobre a qual é efetuada a montagem do armamento de via. Depois de garantir a fixação e o bom funcionamento de via, procede-se aos ataques de enchimento e aplicação de mais balastro na via ferroviária com recurso a balastreiros.

**Tabela 4-7 – Recursos para a aplicação de balastro**

Mão de obra		Equipamentos	
1	Condutor	1	Pá carregadora
1	Motorista	1	Espalhadora de balastro
		2	Camião basculante
		1	Locomotiva
		s/n	Vagões balastreiros
Rendimento teórico		400 m <sup>3</sup> / dia	

Para o **assentamento de via nova**, utilizando os recursos indicados na Tabela 4-8, tem de estar materializada a piquetagem provisória da mesma, de modo a garantir a sua localização conforme o projeto, esta atividade é constituída pelas seguintes tarefas:

- Colocação das travessas feita com auxílio de uma máquina rodoferroviária equipada com uma canga que garante a distribuição das travessas na plataforma da infraestrutura;
- Colocação das barras de carril (que foram descarregadas previamente no passeio da via lateral) é realizada com máquinas de posicionamento de carril, ou de pórticos manuais, colocados em número suficiente para evitar de indução de flechas na barra do carril que pode provocar deformações permanentes;
- Ligação das barras de carril, previamente colocadas sobre as travessas, realizar-se-á mediante utilização de Cês provisório, que mantém a referida ligação até a execução da soldadura. A utilização de Cês evita a furação do carril;
- Aperto das barras de carril sobre as travessas, que consiste nas seguintes operações:
  - Aliviar os parafusos colocados nas travessas;
  - Aperto dos parafusos, de acordo com o grau de aperto fixado pelas normas em vigor;

Este trabalho é executado com recurso a tirefonadoras ligeiras equipadas com dinamómetros coadjuvadas por pessoal que coloca na correta posição os grampos que se podem deslocar, as travessas que necessitam de ligeiras correções de espaçamento.

- Pré-alinhamento / nivelamento da via;
- Após aperto das barras, verificam-se as distâncias do carril à piquetagem provisória, de forma a colocar a via muito perto do seu alinhamento definitivo.

**Tabela 4-8 – Recursos para montagem de via-férrea**

Mão de obra		Equipamentos	
1	Oficial de via	1	Máquina rodoferroviária
2	Auxiliar de via	1	Retroescavadora
1	Manobrador de via	1	Posicionadora de carril
1	Condutor	2	Tirefonadora
		1	Máquina de impacto
		1	Motodisco de carril
		1	Régua de bitola
		1	Atacadeira pesada
Rendimento teórico		108m / dia	

Nesta atividade está igualmente incluída a realização de **ataques pesados de via**, com recurso a atacadeiras (Figura 4-1), com o objetivo de colocação da via na posição planimétrica de projeto e a -20mm da posição altimétrica de projeto.



**Figura 4-1 – Atacadeira pesada de via**

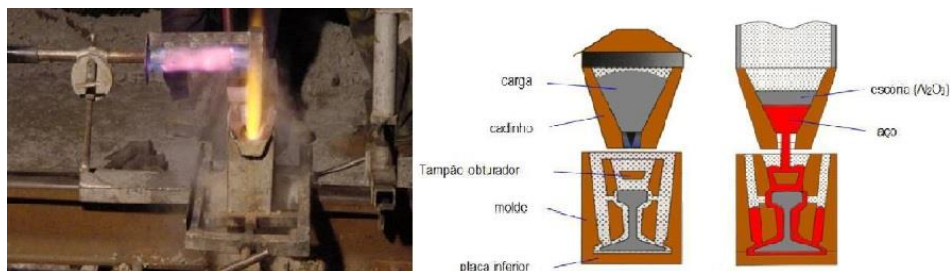
O **assentamento de AMV**, utilizando os recursos indicados na Tabela 4-9, é feito de modo análogo ao assentamento de via utilizando pórticos mecânicos especiais para AMV e/ou gruas móveis de apoio. Os AMV são ensaiados e pré-montados sempre que haja condições para tal, antes da sua montagem no local definitivo.

**Tabela 4-9 – Recursos para o assentamento de AMV**

Mão de obra		Equipamentos	
2	Assentador de via	2	Máquina rodoferroviária
2	Auxiliar de via	2	Tirefonadora
2	Manobrador de via	2	Máquina de impacto
		2	Motodisco de carril
Rendimento teórico		2 un / dia	

Uma vez concluídos os trabalhos de montagem de via e colocação da mesma em relação ao traçado num plano vertical que fique 0,02m abaixo do plano vertical de referência e com

tolerância +/-0,02m na posição em relação à diretriz de projeto (sinal menos (-), são possíveis deslocamentos para o lado esquerdo da diretriz no sentido crescente do PK, sinal mais (+) são possíveis deslocamentos para o lado direito da diretriz no sentido crescente do PK) procede-se com a execução das **soldaduras aluminotérmicas** (Figura 4-2), cuja função é a criação das BLS barras longas soldadas, deixando unicamente por realizar, as soldaduras necessárias, para a libertação de tensões na atividade de regularização de barras.



**Figura 4-2 – Processo de soldadura aluminotérmica [2]**

A execução das soldaduras consiste nos seguintes trabalhos:

- Desaperto e posterior reaperto das fixações;
- Desguarnecimento e posterior reposição de balastro nos vãos a intervir;
- Preparação dos topos a ligar através de soldadura, incluindo os eventuais cortes de carril para colocação de fecho;
- Nivelamento e alinhamento de topos;
- Aplicação de moldes;
- Pré-aquecimento e vazamento de cargas;
- Desmontagem dos moldes e corte de material excedentário;
- Esmerilagem da cabeça de carril, de forma a conferir-lhe o perfil normal;
- Remoção de todos os detritos resultantes da execução da soldadura do local de enchimento;
- Marcação da soldadura conforme o normativo da IP.

Posteriormente procede-se a validação da soldadura relativamente aos valores de desvios ao nível da mesa de rolamento e do alinhamento das faces de guiamento e faces exteriores.

**Tabela 4-10 – Recursos para a execução de soldaduras aluminotérmicas**

Mão de obra		Equipamentos	
1	Soldador	1	Esmeriladora ligeira
2	Auxiliar de soldador	1	Conjunto Soldadura aluminotérmica
		2	Tirefonadora
		1	Motodisco de carril
Rendimento teórico		4 un / dia	

Após as soldaduras, efetua-se a **regularização das barras**, com os recursos indicados na Tabela 4-11, que consiste na realização da regularização de barras na extensão onde a via foi renovada ou na extensão definida pela fiscalização, em conformidade com o previsto nas condições técnicas das normas em vigor.

Esta atividade tem o objetivo de obter o equilíbrio das tensões internas do carril instalado, oriundas da execução do seu processo construtivo. A atividade de regularização de barra longa soldada irá processar-se após o último levante de enchimento (quando a via fica a uma cota de -0,02m abaixo da rasante de projeto), em que a via já se encontra praticamente na sua posição definitiva.

Esta operação realiza-se, de acordo com as normas e em função das temperaturas existentes no momento da regularização. O processo utilizado é de aplicação de tensionamento, com recurso a tensores hidráulicos. Assim sendo, antes de se iniciar a libertação da barra, partindo da criação de um ponto fixo, proceder-se-á à colocação de marcas no carril de 50m em 50m e na travessa (ponto fixo, ou estação), para posterior desaperto da totalidade das fixações e colocação de roletes sobre o carril.

Durante a fase de aplicação de esforço de tensionamento, a barra recebe golpes com marretas apropriadas, de modo a redistribuir as tensões instaladas e eliminando os estrangimentos existentes, até que se produza a totalidade da dilatação do carril correspondente à temperatura média de referência de 30°. À medida que o esforço de tensionamento é aplicado, gradualmente verifica-se os avanços/recuos das marcas das barras.

Em função do comprimento a neutralizar e das temperaturas do carril, executa-se o corte na barra no caso em que a abertura seja menor, ou mediante tração com tensores hidráulicos para execução da abertura perfeita, soldando-se em seguida as barras do carril.

Antes de se proceder à soldadura verifica-se se as marcas do carril foram colocadas proporcionalmente em cada travessa marcada, repetindo-se em caso contrário a operação de batimento na barra, mediante prévia comprovação do afrouxamento da barra e da correta colocação dos roletes que facilitam o movimento longitudinal do carril.

**Tabela 4-11 – Recursos para a realização da regularização das barras**

<b>Mão de obra</b>		<b>Equipamentos</b>	
4	Assentador de via	2	Tirefonadora
8	Auxiliar de via	2	Máquinas de impacto
		1	Tensor de carril
		1	Motodisco de carril
		4	Marretas
		12	Roletes
Rendimento teórico		540 [m] / dia	

A última intervenção na via propriamente dita consiste em execução de um **ataque definitivo, incluindo a estabilização dinâmica** (Figura 4-3), com os recursos indicados na Tabela 4-12, sendo esta operação o último ataque mecânico pesado, o qual tem como objetivo colocar a via nas cotas altimétricas e posição planimétrica definitiva em relação ao projeto.

Em simultâneo com este processo é garantida a configuração do perfil teórico transversal da via, assim como a estabilização dinâmica da via, sendo executadas rampas de disfarce no fim de cada extensão, a atacada para garantir a compatibilidade dos parâmetros geométricos e dinâmicos da via com o existente.

**Tabela 4-12 – Recursos para a execução do ataque definitivo e estabilização dinâmica**

Mão de obra		Equipamentos	
1	Chefe de máquinas ferroviárias	1	Atacadeira de via
3	Operador de máquinas ferroviária	1	Reguladora pesada de via
2	Ajudante de máquinas ferroviária	1	Estabilizadora dinâmica
Rendimento teórico		1500m / dia	

A **piquetagem definitiva**, realizada com s recursos indicados na Tabela 4-13, corresponde à materialização final da geometria da via, tendo em conta o último estudo de otimização de traçado de via aprovado e respeitando todas as regras de implantação, bem como a definição de suporte físico para a sua materialização.

A piquetagem definitiva recorre a coordenadas no sistema de coordenadas do projeto e corresponde aos pontos notáveis do traçado (planimetria e altimetria).

**Tabela 4-13 – Constituição da equipa para piquetagem definitiva**

Mão de obra		Equipamentos	
1	Oficial de Via	1	Miniescavadora
1	Auxiliar de via	1	Betoneira
1	Condutor		
Rendimento teórico		15 un / dia	



**Figura 4-3 – Estabilizadora dinâmica**

### 4.3.2 Trabalhos de catenária

Embora na presente intervenção as alterações de traçado (planimetria e altimetria) não sejam significativas, foi, no entanto, necessário proceder a regularizações da catenária, devidamente ajustadas à nova geometria.

A subida da rasante varia entre 0 e 0.12m, no ponto mais desfavorável detetado na análise de otimização dos traçados. Tendo em conta as alturas dos fios de contacto fornecidas pela manutenção e confirmadas em obra pelo empreiteiro, garante-se a conformidade dos gabaritis e desalinhamentos do fio de contacto com recurso à regulação das consolas ou dos pórticos.

Em zonas onde a catenária é dotada com consolas a ripagem horizontal de via não ultrapassa os 0,10m de diferença que as consolas permitem suprimir apenas com recurso à regulação.

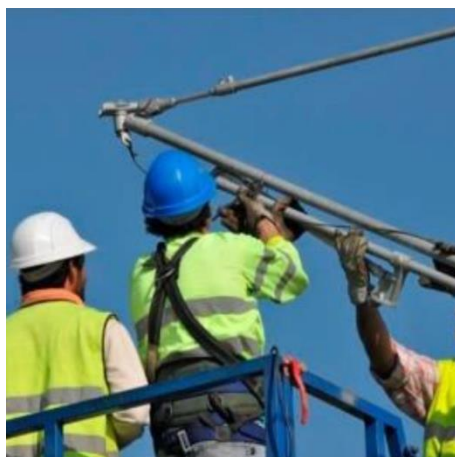


Figura 4-4 – Regulação de pórticos  
[2]

### 4.3.3 Terraplenagem

A principal atividade nesta especialidade realizada prendeu-se com a necessidade de tratamento da fundação da plataforma, sendo que a sua necessidade decorreu das incompatibilidades verificadas entre a prospeção realizada em fase de projeto e o cenário geotécnico encontrado durante a realização dos trabalhos, o que levou à necessidade de execução de saneamentos na frente de obra em Mato de Miranda, tanto em aterro como em perfil de escavação, nos locais e nas extensões indicadas na Tabela 4-14.

Tabela 4-14 – Tratamento de fundação na frente de Mato de Miranda

Frente de trabalho	Trecho		Linha	Tratamento de fundação	
	PK início	PK fim		Espessura saneamento [m]	Camada drenante [m]
Mato de Miranda	0+000	0+266	Linha IV-Topo	0.50	
	0+000	0+080	Linha III - Topo	0.50	0.50 (Pk 0+030 – 0+080)
	0+000	0+891	Linha III - Resguardo	0.50	-
	0+000	0+891	Linha IV - Resguardo	0.50	-

Tendo em consideração o balanço entre o volume de aterro e escavação, também as características dos solos provenientes de escavação impróprios para aterro, todo o aterro e as respetivas camadas de reforço de plataforma foram executadas com materiais provenientes de mancha de empréstimo:

- Nas camadas de reforço de plataforma em perfil de escavação, o preenchimento de saneamento foi realizado com material selecionado de classe QS2 (UIC-719R) ou superior proveniente de empréstimo;
- Camadas drenantes no preenchimento de saneamento em aterro com material pétreo granular proveniente de empréstimo;
- Camada de coroamento – com material de empréstimo, do tipo QS3 ou ABGE de calcário de 1ª;
- Camada de Sub-balastro com material de empréstimo, com matérias tipo ABGE que cumpre na íntegra o estipulado no ato normativo REFER IT.GEO.006 de 2007.

#### **4.4 Otimização dos recursos**

A construção de uma infraestrutura ferroviária necessita de investimentos substanciais e a gestão dos recursos utilizados para a realização da construção / manutenção é considerada um aspeto crucial para garantir o sucesso deste processo.

A otimização dos recursos não se deve entender como uma forma de baixar a qualidade, mas sim como uma modalidade de fomentar a procura de novos métodos de execução dos trabalhos para tirar o máximo proveito dos investimentos efetuados.

Um dos primeiros passos a fazer é identificação das soluções técnicas possíveis para realização das tarefas, tanto de soluções tradicionais e também as inovadoras.

Uma vez identificadas as soluções, cada uma delas deve ser avaliada na perspetiva de custo e benefício. Esta avaliação não inclui só os custos iniciais de aquisição, mas também os custos de operação e conservação.

É importante ter a noção de todos os aspetos técnicos e financeiros envolvidos para obter uma imagem do impacto financeiro final de cada solução.

Analisar o benefício de cada solução pode evidenciar:

- Redução dos custos de operação e manutenção;
- Aumentar a durabilidade e fiabilidade;
- Melhoria da segurança e conforto do utilizador da rede.

Aspetos importantes a ter em consideração para a otimização dos recursos são:

- Eficiência das aquisições e da cadeia de abastecimento;

- Utilização de materiais sustentáveis para redução dos custos a longo prazo;
- Utilização de métodos de gestão eficiente;
- Monitorização e acompanhamento constante das despesas e utilização dos recursos;
- Respeitar a lei e os regulamentos;
- Acompanhar a evolução tecnológica.

Na presente empreitada, tendo em conta a complexidade da mesma, não é uma tarefa fácil de otimizar os gastos e os recursos. As medidas tomadas e os fatores que permitiram a otimização de equipamento e dos gastos foram:

- Criação de caminhos e acessos às frentes de trabalho;
- Tornar as equipas polivalentes, dado que não é possível garantir a continuidade das atividades para aproveitar melhor a mão de obra e o equipamento;
- Para otimizar as máquinas pesadas da ferrovia, as atividades que dependem delas foram planeadas de modo que não haja interrupções entre as mesmas;
- Aposta na prefabricação;
- Autos de medição feitos com medições reais;
- Reuniões de obra internas organizadas semanalmente;
- Reuniões com o Dono de Obra e Entidade Fiscalizadora organizadas semanalmente;
- Atualização do planeamento e do avanço de obra efetuado semanalmente;
- Controlo dos depósitos de materiais;
- Utilizar locais na frente de obra que não interferem com os trabalhos a executar, para depositar materiais, de modo a reduzir área de estaleiro a ocupar;
- Revisão e discussão dos contratos;
- Realização de auditorias regulares;
- Colaboração e bom ambiente entre as equipas;
- Bom senso e espírito de sacrifício dos colaboradores;
- Controlo de qualidade, identificação e minimização de riscos;
- Origem dos fornecedores o mais próximo possível da obra.

#### **4.5 Contributo das novas tecnologias na empreitada**

As novas tecnologias aplicadas na presente empreitada tiveram um impacto positivo, conduzindo a melhorias significativas em termos eficiência, segurança e sustentabilidade.

Apresentam-se em seguida, a título meramente ilustrativo, algumas das atividades realizadas no âmbito da empreitada em que foi possível recorrer à utilização de novas tecnologias e que se enquadram na génese do presente documento.

### a) Registo orto fotométrico do estado inicial da zona a intervencionar

Foi efetuado o registo orto fotométrico de alta resolução com recurso a UAV (Figura 4-5) do estado inicial da zona a intervencionar na obra, elementos que serviram para a criação do modelo digital do existente.

A partir desse registo, em resultado da comparação com a caracterização da situação no terreno, foi possível identificar incompatibilidades relativamente ao projeto, o que originou pedidos de esclarecimentos junto do projetista e, por consequência, a necessidade de disponibilização de peças de projeto revistas e/ou compatibilizadas.



Figura 4-5 – Orto foto de alta resolução

Um dos aspetos que mais se destaca é a compatibilização da rede drenagem na frente de Mato de Miranda e Riachos.

Recorrendo ao modelo digital do terreno obtido cuja morfologia é quase idêntica ao do real, foi possível detetar as falhas no projeto de drenagem.

Com base nesta informação, conseguiram-se realizar propostas de compatibilização ainda em fase de erros e omissões (Anexo IV). Permitiu evitar a execução de 2 passagens hidráulicas cuja construção era complexa tendo em consideração que as mesmas, por falta de condições de execução de blocos técnicos, deveriam ficar envolvidas em betão, como se pode observar na Figura 4-6 e ainda o desvio de 5 postes de média tensão, o que se traduziu em uma poupança significativa para o dono de obra.

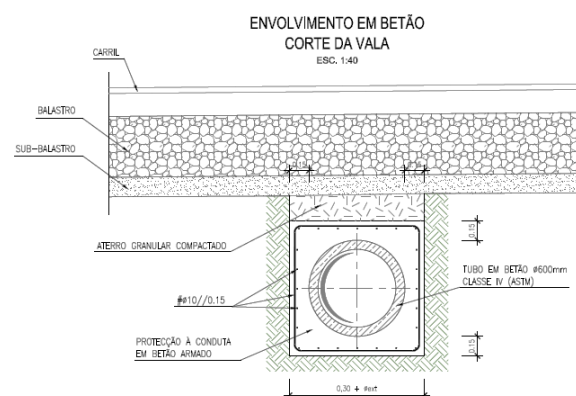


Figura 4-6 – Corte tipo de passagens hidráulicas em linhas gerais sem bloco técnico

## b) Levantamento e acompanhamento da obra

Antes da entrega dos autos de medição (5 dias), no âmbito do acompanhamento da obra é efetuado o registo orto fotométrico e do modelo digital das frentes de trabalho (Figura 4-7), o que permite com rigor quantificar, por exemplo, volumes inerentes à movimentação de terras.



Figura 4-7 – Modelo digital de frente de trabalho (Sacyr, Riachos)

## c) Inspeção de locais de difícil acesso ou condicionado

Com o objetivo de preparar devidamente a intervenção, reunindo o máximo de informação possível relativamente à caracterização da zona a intervencionar, o corpo técnico da SACYR foi deslocado, em regime permanente, para o local, 2 meses antes da consignação da mesma.

Tendo em consideração os procedimentos de segurança, sem a obra consignada, a Infraestruturas de Portugal não podia emitir ordens diárias de trabalho para ser possível visitar as futuras frentes de trabalho localizadas ou contíguas à Linha do Norte e em exploração.

Dadas estas condicionantes, e de forma a obter a informação necessária, recorreu-se ao uso de Drones para a realização da gravação de vídeos e registos fotográficos de alta resolução.

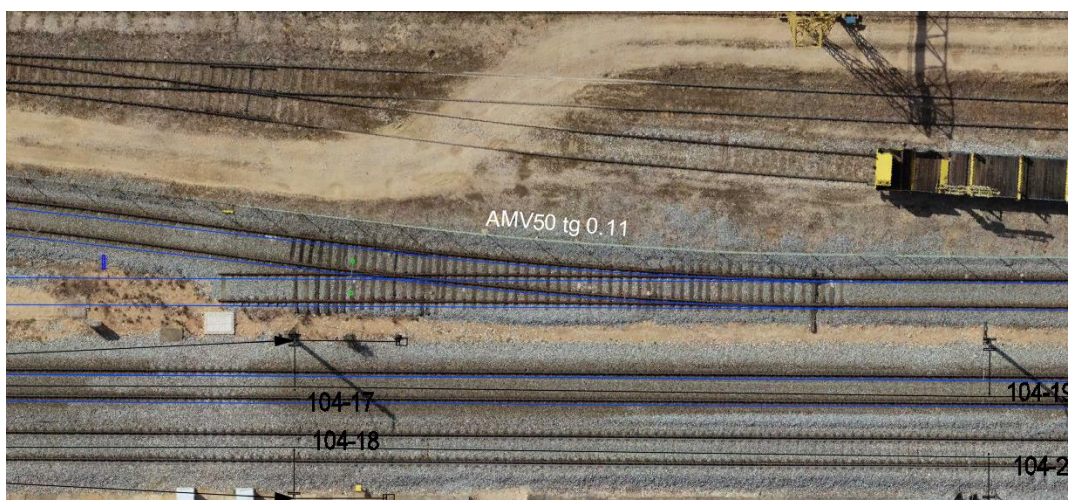


Figura 4-8- Inspeção do local de substituição do AMV 50 na Linha Mãe dos Ramais

#### d) Fiscalização do trabalho realizado pelos subempreiteiros

Em obra é necessário proceder à verificação da execução de trabalhos por parte de subempreiteiros, nomeadamente se estão a ser realizados em conformidade com as regras estabelecidas como, por exemplo, o cumprimento das regras de segurança, proceder à avaliação do desempenho dos equipamentos e das equipas, quantificar ciclos de trabalho.

Essa verificação, como sucedeu com a movimentação e posterior assentamento de um AMV, foi realizada com recurso a Drones equipados com câmaras de alta resolução (Figura 4-9).

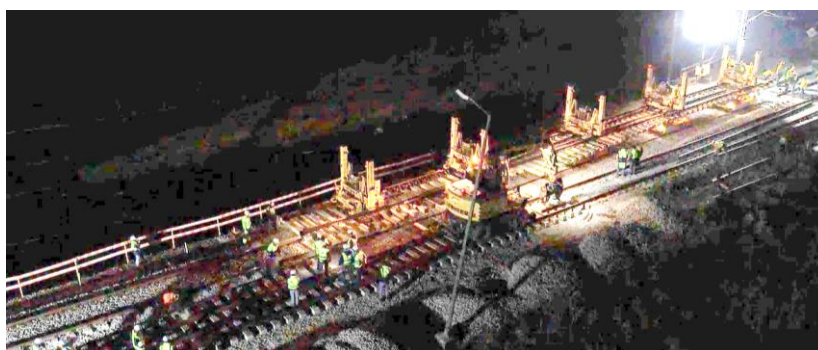


Figura 4-9 – Inspeção de colocação em obra de AMV (Sacyr, Vale de Figueira)

#### e) Avaliação da evolução do estado dos trabalhos

Com base nos registos orto fotométricos, vídeos e no modelo digital da obra é possível avaliar a evolução contínua da mesma e, com base na sua análise, efetuar previsões, corrigir planeamentos, otimizar os meios e controlar os custos de uma forma mais eficaz.

#### f) Controlo de depósitos de materiais

Mensalmente é efetuado o levantamento orto fotométrico da obra, incluindo o local de estaleiro e dos depósitos de matérias, que permite verificar e avaliar a quantidade dos materiais presentes em obra com rigor (Figura 4-10).

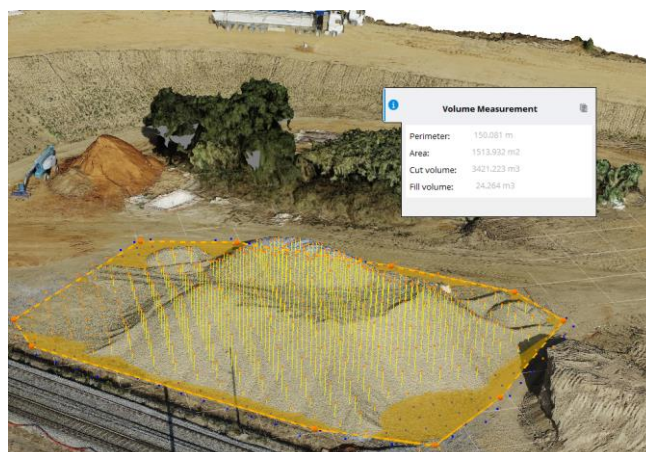


Figura 4-10 – Verificação do volume do depósito de balastro na frente de Mato de Miranda

### g) Acompanhamento de máquinas pesadas de via

Nesta empreitada, o acompanhamento da atacadeira pesada de via foi assegurado pelo sistema de via Amberg GRP System FX 3000 (Figura 4-11)



Figura 4-11 – Carrinho de via Amberg GRP System FX 3000

Este carro de via é a ferramenta ideal para o tipo da empreitada em apreço, no que respeita ao acompanhamento do equipamento pesado de via. Aumenta consideravelmente a produtividade, reduzindo os erros e otimizando o trabalho da atacadeira. Executa a leitura da via da mesma forma que o sistema de medição da atacadeira, permitindo a produção de relatórios e gráficos que contribuem para uma planificação e execução otimizada dos ataques via (Anexo V).



## 5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Num mundo em constante e aceleradas mudanças, a área da construção (entidades executantes e fiscalizadoras), as que lhe estão a montante (projetistas) e os donos de obra / gestores de infraestruturas, não podem ser exceção, obrigando a que todos os profissionais envolvidos tenham de se atualizar e inovar com o objetivo de se ajustarem ao ritmo competitivo imposto pelo mercado.

Razões, ou barreiras que levam à situação existente que poderão ser resultantes de:

- Ao nível da construção tradicional, muitas empresas ainda estão ancoradas em métodos tradicionais de construção e gestão das mesmas, hesitando em adotar novas soluções, umas vezes por desconhecimento, mas também por medo da mudança;
- Desconhecimento ou receio de que o investimento necessário no digital não oferece um retorno extremamente atrativo. A título de exemplo e recorrendo à empreitada objeto do presente documento, com a utilização de novas tecnologias foi possível dar resposta adequada às necessidades de obra, envolvendo um grande volume de trabalho que, com recurso a métodos tradicionais, envolveria no mínimo 2 a 3 técnicos e os resultados também não teriam a qualidade obtida nem a celeridade conseguida;
- Falta de incentivos e apoios, nomeadamente governamentais, para encorajamento na implementação das novas tecnologias;
- Legislação e regulamentação desajustadas.

Apesar das dificuldades mencionadas, também é verdade que existem exceções, como é o caso da empresa que proporcionou as condições para a realização do presente documento, a qual aposta na mudança, tendo já resultados práticos positivos e motivadores através de:

- Utilização de software e plataforma de Gestão na construção;
- Implementação da metodologia BIM nos processos de produção;
- Realidade Virtual (VR) e Realidade Aumentada (VA) – modelação dos projetos em 3D e captação da realidade virtual com recurso aos Drones, Varrimento Laser 3D e LiDAR;
- Impressão 3D a escala macro;
- Robotização;
- Automação do controlo e acompanhamento de máquinas pesadas envolvidas no processo de construção.

Considerando-se como muito positiva a experiência vivida, com a utilização das técnicas inovadoras na realização dos trabalhos na presente empreitada, apontam-se em seguida algumas sugestões para acelerar a mudança necessária:

- Iniciar o processo com passos pequenos. A adoção das novas tecnologias não pode ser uma mudança rápida. Sobre esta questão relembra-se dois provérbios portugueses “A pressa é inimiga da perfeição” e “depressa e bem não há quem”;
- Educar e incentivar a equipa para a utilização das novas tecnologias;
- Observar as metodologias utilizadas por outras empresas, em particular as concorrentes;
- Comparar a realização de tarefas com métodos tradicionais e com o recurso a novas tecnologias, incluindo a análise de elementos estatísticos;
- Definir e encorajar uma cultura direcionada para a inovação;
- Analisar casos de estudo e exemplos de sucesso.

No caso particular da empreitada de suporte ao presente relatório, para as tecnologias já utilizadas (Drones e sistemas de acompanhamento 3D para máquinas pesadas de Via), ficou demonstrado que os objetivos propostos foram atingidos, resultando em ganhos muito significativos nomeadamente decorrentes da realização das seguintes atividades:

- Registo orto fotométrico do estado inicial da zona a intervir;
- Levantamento de acompanhamento da obra;
- Inspeção de locais de acesso difícil ou condicionado;
- Fiscalização do trabalho realizado pelos subempreiteiros;
- Avaliação da evolução do estado dos trabalhos.

No acompanhamento da empreitada chegou-se a conclusão, que uma das mais importantes atividades de um engenheiro civil a fazer logo no berço da obra, é a reorçamentação da empreitada, que não é apenas uma questão de ajustar números, mas sim uma prática fundamental de boa gestão, permitindo que a execução da obra se mantenha alinhada com os objetivos iniciais, respeitando os limites orçamentais e prazos estipulados, enquanto responde de forma eficaz e transparente às necessidades emergentes e aos desafios inesperados que surgem durante a execução. Este processo assegura, acima de tudo, que o interesse público seja sempre preservado, garantindo a qualidade e a eficácia dos investimentos realizados.

A otimização dos recursos representa um equilíbrio entre os investimentos iniciais e obtenção dos benefícios a longo prazo, com base nas soluções implementadas. Assumindo práticas como planeamento pormenorizado, utilização de tecnologias inovadoras, escolha criteriosa dos materiais, aplicação de uma gestão eficiente de recursos, conseguimos reduzir o tempo e o custo total de construção e o impacto ambiental e social.

Ao adotar esta filosofia de trabalho, a construção torna-se mais rentável, amiga do ambiente e duradoura, promovendo o desenvolvimento económico e social traduzindo-se na maximização do retorno sobre investimento dos recursos públicos ou privados.

Em termos de ações futuras na presente empreitada, deve ser considerado o seguinte:

- Utilização na empreitada das tecnologias que ainda não foram utilizadas (“Laser Scanning / LiDAR”);
- Utilização continuada nos trabalhos ainda não executados de todas as tecnologias objeto do presente relatório, procedendo à sua continuada melhoria em resultado de utilizações anteriores (lições aprendidas / processo de melhoria contínua);
- Definição e implementação de procedimentos devidamente ajustados ao tipo de equipamentos e aos trabalhos a realizar;
- Envolvimento e formação continuada de todos os intervenientes no processo, contemplando as áreas de planificação, execução e monitorização.

Em termos de ações futuras em geral, deve igualmente ser considerado:

- Aposta na pré-fabricação sempre que possível;
- Adoção de metodologias BIM em todas as fases de projeto;
- Adoção de uniformização e padronização em empreendimentos públicos e privados;
- Utilização de impressão 3D a nível macro;
- Aposta na inteligência artificial;
- Flexibilidade e abertura para a comunicação e partilha do conhecimento;
- Priorizar o uso de materiais recicláveis;
- Elaboração de projetos tendo em atenção as alterações climáticas;
- Considerar empreendimentos suscetíveis de ajustamento das suas funcionalidades ao longo da sua vida útil, sem necessidade de investimentos elevados.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. de Q. ABRAGÃO, «Sobre a evolução dos nossos Caminhos de Ferro», *GazetaCFN1561*, pp. 19–26, 1953, Acedido: 1 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: [https://hemerotecadigital.cm-lisboa.pt/OBRAS/GazetaCF/1953/N1561/N1561\\_master/GazetaCFN1561.pdf](https://hemerotecadigital.cm-lisboa.pt/OBRAS/GazetaCF/1953/N1561/N1561_master/GazetaCFN1561.pdf)
- [2] Sacyr, «Sacyr, Concessions, Engineering, Infrastructure». Acedido: 23 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: [www.sacyr.com/](http://www.sacyr.com/)
- [3] C. , O. y D. de los sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto en L. drones y sus aplicaciones a la I. civil. CUERNO, «Aplicaciones en el control de obras y evaluación de impactos en Los drones y sus aplicaciones a la Ingeniería civil. Dirección General de Industria y Energía de la Comunidad de Madrid», 2015. Acedido: 16 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015384.pdf>
- [4] Department of Defense, «Joint Publication 1-02 Dictionary of Military and Associated Terms», 2010. [Em linha]. Disponível em: [http://www.dtic.mil/doctrine/dod\\_dictionary](http://www.dtic.mil/doctrine/dod_dictionary)
- [5] I.C.A.O., «Unmanned Aircraft System (UAS), Cir 328 AN/190», 2011. Acedido: 16 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/3202.pdf>
- [6] ANAC, «Autoridade Nacional de Aviação Civil». Acedido: 16 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: [https://www.anac.pt/vPT/Generico/drones/legislacao\\_regulamentacao\\_uas/Paginas/LegislacaoRegulamentacaoEspecificas.aspx](https://www.anac.pt/vPT/Generico/drones/legislacao_regulamentacao_uas/Paginas/LegislacaoRegulamentacaoEspecificas.aspx)
- [7] EASA, «Agência da União Europeia para a Segurança da Aviação Civil». [Em linha]. Disponível em: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones/naa>
- [8] Easa, «AMC & GM to Regulation (EU) 2019-947 — Issue 1, Amendment 2», 2022. Acedido: 24 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/acceptable-means-of-compliance-and-guidance-materials/group/amc--gm-to-commission-implementing-regulation-eu-2019947#amc--gm-to-commission-implementing-regulation-eu-2019947>
- [9] @thatchernobylguy2915, «The Chernobyl Helicopter Crash: The Untold Story». [Em linha]. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=VbXAX3KXk-U&ab\\_channel=ThatChernobylGuy](https://www.youtube.com/watch?v=VbXAX3KXk-U&ab_channel=ThatChernobylGuy)

- [10] Thomas M. Lillesand, Ralph W. Kiefer, e Jonathan W. Chipman, «I REMOTE SENSING AND IMAGE INTERPRETATION Seventh Edition», 2015. Acedido: 16 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-remote-sensing-and-image-interpretation.pdf>
- [11] Huagang Tian, «Remote Sensing Technology and Its Application», *International Journal of Geology*, vol. 6, n. 1, 2021, doi: 10.26789.
- [12] CCRS/CCT, *A Canada Centre for Remote Sensing Remote Sensing Tutorial - Fundamentals of remote Sensing*. Acedido: 3 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: [https://natural-resources.canada.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutorial/fundamentals\\_e.pdf](https://natural-resources.canada.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutorial/fundamentals_e.pdf)
- [13] European Space Agency, «ESA Eduspace». Acedido: 20 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: [https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_Global\\_PT/SEMFX5D6UQH\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_PT/SEMFX5D6UQH_0.html)
- [14] F. E. Chris Winkler, «How Many Sensors are in a Drone, And What do they Do?», 2024, Acedido: 20 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.fierceelectronics.com/components/how-many-sensors-are-a-drone-and-what-do-they-do>
- [15] D. T. Connor *et al.*, «Radiological Mapping of Post-Disaster Nuclear Environments Using Fixed-Wing Unmanned Aerial Systems: A Study From Chornobyl», *Front Robot AI*, vol. 6, Jan. 2020, doi: 10.3389/frobt.2019.00149.
- [16] Olaya Vitor, «Sistemas de Información Geografica», 2020. Acedido: 24 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <http://volaya.github.io/libro-sig/index.html>
- [17] Governo de Portugal, «Direção Geral de Território». Acedido: 25 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.dgterritorio.gov.pt/geodesia/>
- [18] DJI, «Phantom 4 RTK User Manual», 2020. Acedido: 8 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: [https://dl.djicdn.com/downloads/phantom\\_4\\_rtk/20200721/Phantom\\_4\\_RTK\\_User\\_Manual\\_v2.4\\_EN.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_rtk/20200721/Phantom_4_RTK_User_Manual_v2.4_EN.pdf)
- [19] Portugal, «Rede Nacional Estações Permanentes GNSS - RENEP». [Em linha]. Disponível em: <https://renep.dgterritorio.gov.pt/>
- [20] HEXAGON, «Rede de Estações Permanentes da SmartNet», Confidencial. [Em linha]. Disponível em: <https://hxgnsmartnet.com/pt-pt/>

- [21] Propeller Aero, «Propeler». Acedido: 8 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://help.propelleraero.com/>
- [22] GEOTRILHO, «GEOSOLUTION». Acedido: 27 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://geotrilho.pt/>
- [23] C. Altuntas, «TRIANGULATION AND TIME-OF-FLIGHT BASED 3D DIGITISATION TECHNIQUES OF CULTURAL HERITAGE STRUCTURES», *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLIII-B2-2021, pp. 825–830, Jun. 2021, doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-825-2021.
- [24] GEOIDE, «GEOIDE GEOSYSTEMS S.A.» [Em linha]. Disponível em: <https://GEOIDE.PT/>
- [25] RIEGL, «RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEM». [Em linha]. Disponível em: <http://www.riegl.com/>
- [26] MATISA MATÉRIEL INDUSTRIEL S.A., «Documentação técnica fornecida com atacadeira». [Em linha]. Disponível em: <https://www.matisa.ch/>
- [27] Governmento of India e Ministry of railways, «TAMPING MACHINE AND DYNAMIC TRACK STABILIZER», em *INDIAN RAILWAYS TRACKMACHINE MANUAL*, Second Edition., TWO. Acedido: 21 de Julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://rdso.indianrailways.gov.in/works/uploads/File/IRTMM%202019%20CHAPTER%202.pdf>
- [28] AMBERG GROUP, «AMBERG TECHNOLOGIES». [Em linha]. Disponível em: <https://ambergtechnologies.com/>
- [29] Infraestruturas de Portugal, «Tolerâncias dos parâmetros geométricos da via», 2009.
- [30] Infraestruturas de Portugal e COBA, «PROJETO DE EXECUÇÃO - LINHA DO NORTE, VALE FIGUEIRA - ENTRONCAMENTO», 2022.
- [31] Infraestruturas de Portugal, «INSTRUÇÃO DE EXPLORAÇÃO TÉCNICA MEDIDAS DE SEGURANÇA PARA A REALIZAÇÃO DE TRABALHOS NA VIA-FÉRREA E SUA PROXIMIDADE Entrada em Vigor», 2023.
- [32] Ribeiro, *Organização e Gestão de Obras - Otimizar Resultados*, 2.<sup>a</sup> Edição. 2024.



## **ANEXO I – ORGANIZAÇÃO DO PROJETO**

- VOLUME 00 – GERAL
  - Tomo 0.1 – Caracterização Geral do Projeto
  - Tomo 0.2 – Cartografia e Topografia
  - Tomo 0.3 – Mapa de Quantidades de Trabalho
  - Tomo 0.4 – Definição de Preços Unitários
  - Tomo 0.5 – Condições Técnicas Especiais / Caderno de Encargos / Sistema Geral de Rubricas
  - Tomo 0.6 – Plano de Prevenção e Gestão de Resíduos de Construção e Demolição
  - Tomo 0.7 – Plano de Segurança e Saúde / Compilação Técnica
  - Tomo 0.8 – Projeto Integração Paisagística
  - Tomo 0.9 – Licenciamentos
  - Tomo 0.10 – Estudo Impacte Ambiental
- VOLUME 01 – INFRAESTRUTURA E PLATAFORMA DE VIA-FÉRREA
  - Tomo 1.1 – Plataforma da Via, Drenagem e Hidrologia
  - Tomo 1.2 – Vedações
  - Tomo 1.3 – Restabelecimentos, Serventias e Caminhos Paralelos
  - Tomo 1.4 – Geologia e Geotecnia
  - Tomo 1.5 – Muros de Suporte
- VOLUME 02 – INFRAESTRUTURA DE OBRAS DE ARTE (VIA-FÉRREA)
  - Tomo 2.1 – Passagem Superior Rodoviária
  - Tomo 2.2 – Passagem Agrícola
  - Tomo 2.3 – Passagem Superior Pedonal
  - Tomo 2.4 – Passagens Hidráulicas
- VOLUME 03 – SUPERESTRUTURA DE VIA
- VOLUME 05 – INFRAESTRUTURAS DE BASE À SINALIZAÇÃO
- VOLUME 06 – INFRAESTRUTURAS DE BASE ÀS TELECOMUNICAÇÕES
- VOLUME 07 – CATENÁRIA E ENERGIA DE TRAÇÃO
  - Tomo 7.1 – Catenária
  - Tomo 7.3 – Sistema de Retorno de Corrente de Tração, Terras e Proteções
- VOLUME 08 – EDIFICAÇÕES
  - Tomo 8.1 – Estação de Mato de Miranda
  - Tomo 8.3 – Posto de Zona Neutra
- VOLUME 09 – EXPROPRIAÇÕES
  - Tomo 9.1 – Levantamento Cadastral
  - Tomo 9.2 – Expropriações
- VOLUME 10 – FASEAMENTO CONSTRUTIVO GERAL
- VOLUME 11 – SERVIÇOS AFETADOS
- VOLUME 12 – DIVERSOS
  - Tomo 12.1 – Implementação do Acompanhamento Ambiental da Empreitada, incluindo meios humanos, materiais e equipamentos
  - Tomo 12.3 – Gestão do Património Cultural da Obra

## **ANEXO II – Relatório de Aquisição de Dados**



**Project Summary**

Project:	PSR_MM
Number of photos:	423
Number of calibrated photos:	421 ( 100% )
Number of lost or disconnected photos:	2 ( 0% )
Positioning:	Adjustment constraints: control points Rigid registration: none

**Components**

Component 1: 421 photos (421 kept in the final result)










Isolated: 2 photos (not kept in the final result)



 **Low control point density.** The maximum pixel distance to the control points (about 22000px) is above recommendation (10000px).



## **ANEXO III – Relatório de Qualidade**



**Contents**

- [Project Summary](#)
- [Camera Calibration](#)
- [Photo Positions](#)
- [Photo Matching](#)
- [Surveys](#)
- [Control Points](#)

For more information, please see our [online manual](#).

**Project Summary**

Project:	PSR_MM
Number of photos:	423
Ground coverage:	424144.6 square meters
Average ground resolution:	18.9592 mm/pixel
Scale:	1 : 57
Camera model(s):	DJI FC6310R
Processing date:	12/01/2024 23:25
Processing time:	28min 1s

**Quality Overview**

Dataset:	421 of 423 photos calibrated (100%)
Keypoints:	Median of 49699 keypoints per image
Tie points:	185034 points, with a median of 2038 points per photo.
Reprojection error (RMS):	0.49 pixels
Positioning / scaling:	Georeferenced using control points

**Camera Calibration**

**DJI FC6310R 8.8mm 5472x3648**

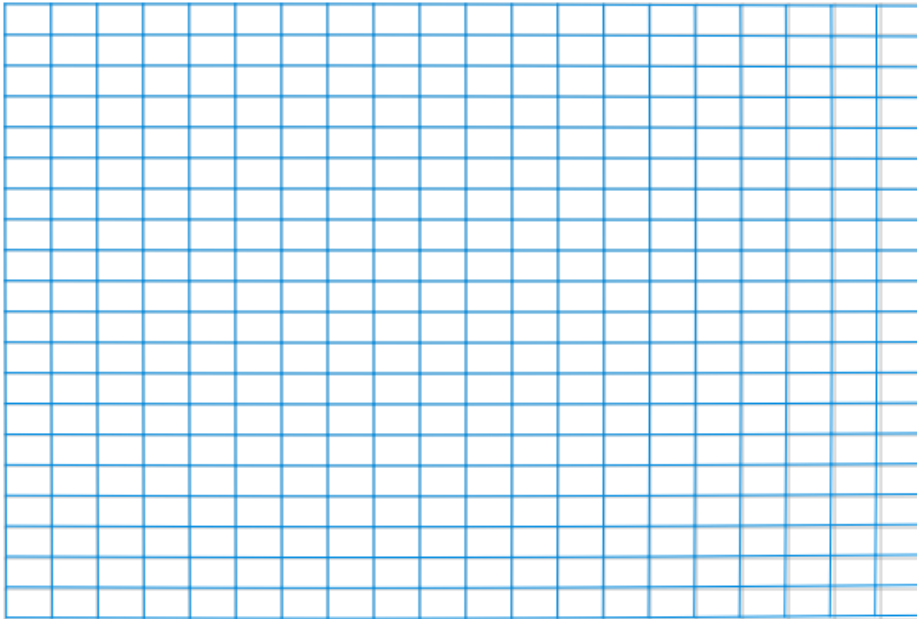
Name:	DJI FC6310R
Model type:	Perspective
Image dimensions:	5472x3648 pixels
Sensor size:	12.83 mm
Number of photos:	423

**Calibration Results**

	Focal	Focal	Principal	Principal	K1	K2	K3	P1	P2
--	-------	-------	-----------	-----------	----	----	----	----	----

	Length [mm]	Length Equivalent 35 mm [mm]	Point X [pixels]	Point Y [pixels]					
<b>Previous Values</b>	8.8	24.6858	2735.50	1823.50	0	0	0	0	0
<b>Optimized Values</b>	9.14754	25.6607	2707.56	1812.53	-0.0176604	0.00579153	0.00695329	-0.00272077	-0.00186969
<b>Difference Previous / Optimized</b>	0.34754	0.9749	-27.94	-10.97	-0.0176604	0.00579153	0.00695329	-0.00272077	-0.00186969

### Distortion Grid

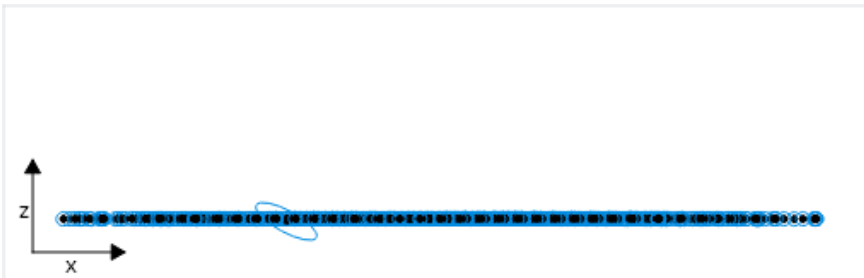
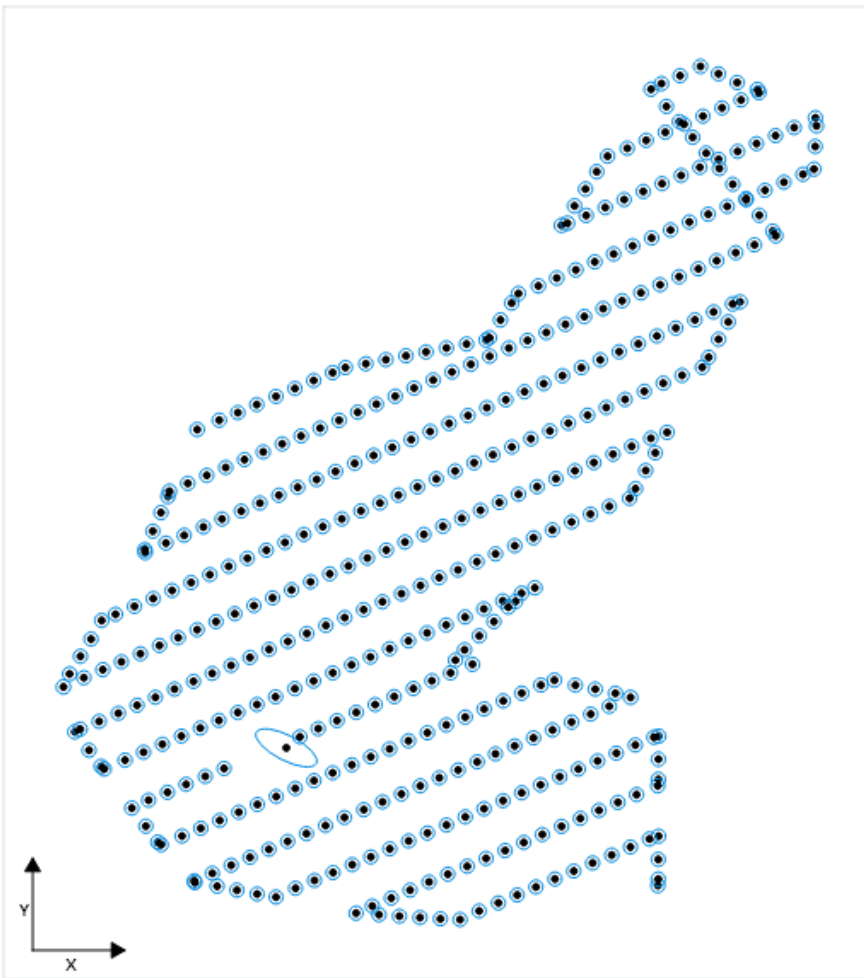


**Camera Lens Distortion:** *Gray lines represent the zero distortion grid, and blue lines represent the real camera values.*

### Photo Positions

### Photo Position Uncertainties

---



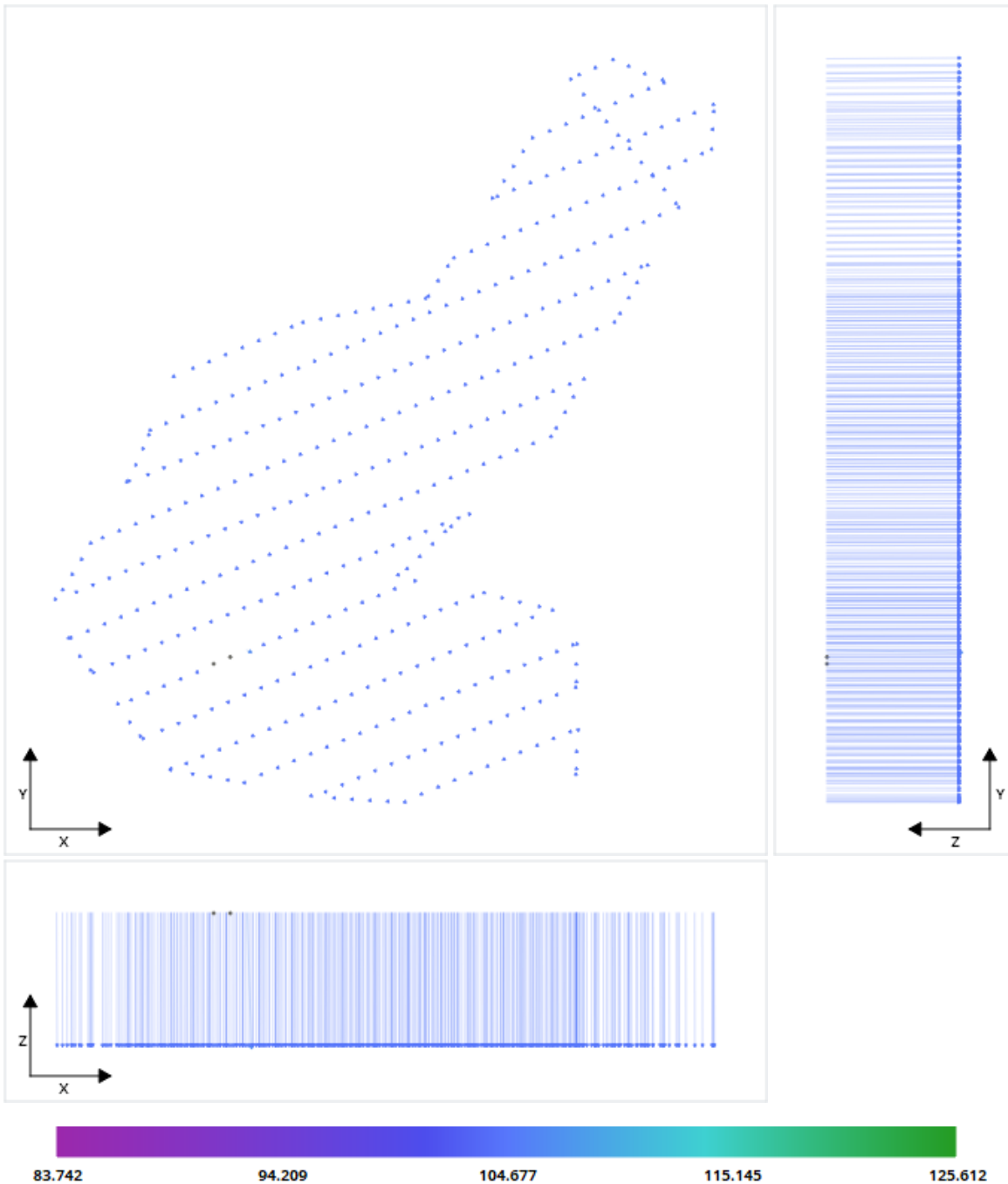
**Position Uncertainties:** Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) of computed photo positions (black dots). Blue ellipses indicate the position uncertainty, scaled for readability. The minimum and maximum values, as well as the average value, can be found in the table below.

Position Uncertainties			
	X [meters]	Y [meters]	Z [meters]
<b>Minimum</b>	0.0026	0.0022	0.0007
<b>Mean</b>	0.0046	0.0036	0.0014
<b>Maximum</b>	0.3267	0.1813	0.1817

For more information on individual photos, please refer to the [Photos Report](#).

### Distance to Input Positions

---

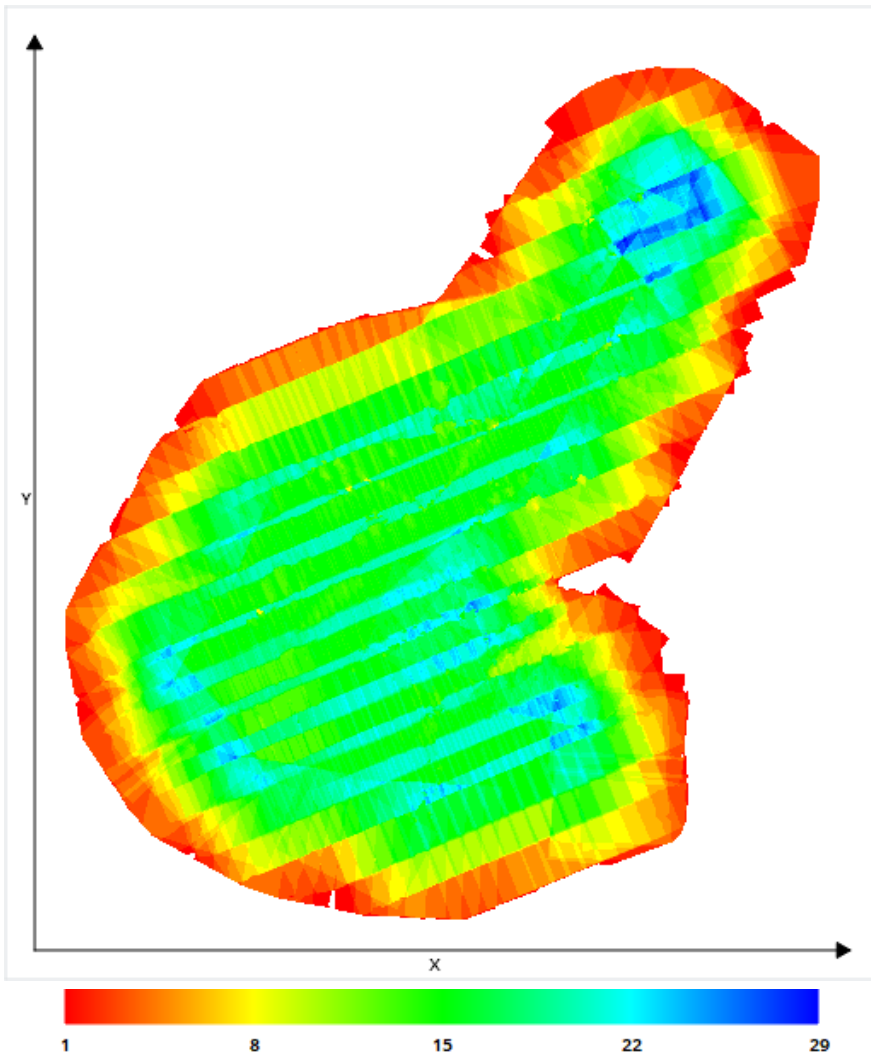


**Position Distance to Metadata:** Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane), with arrows indicating the offset between the metadata positions and the computed photo positions; all arrows start from the metadata positions and point toward the computed positions. Gray points • indicate uncalibrated photos that have metadata. Pink points • indicate calibrated photos that have no metadata.

The values are in meters, with a minimum distance of **104.4562 meters** and a maximum of **106.5351 meters**. The median position distance equals **104.677 meters**.

## Scene Coverage

---



**Number of photos seeing the scene:** Top view (XY plane) display of the scene, with colors indicating the *number of photos* that potentially see each area.

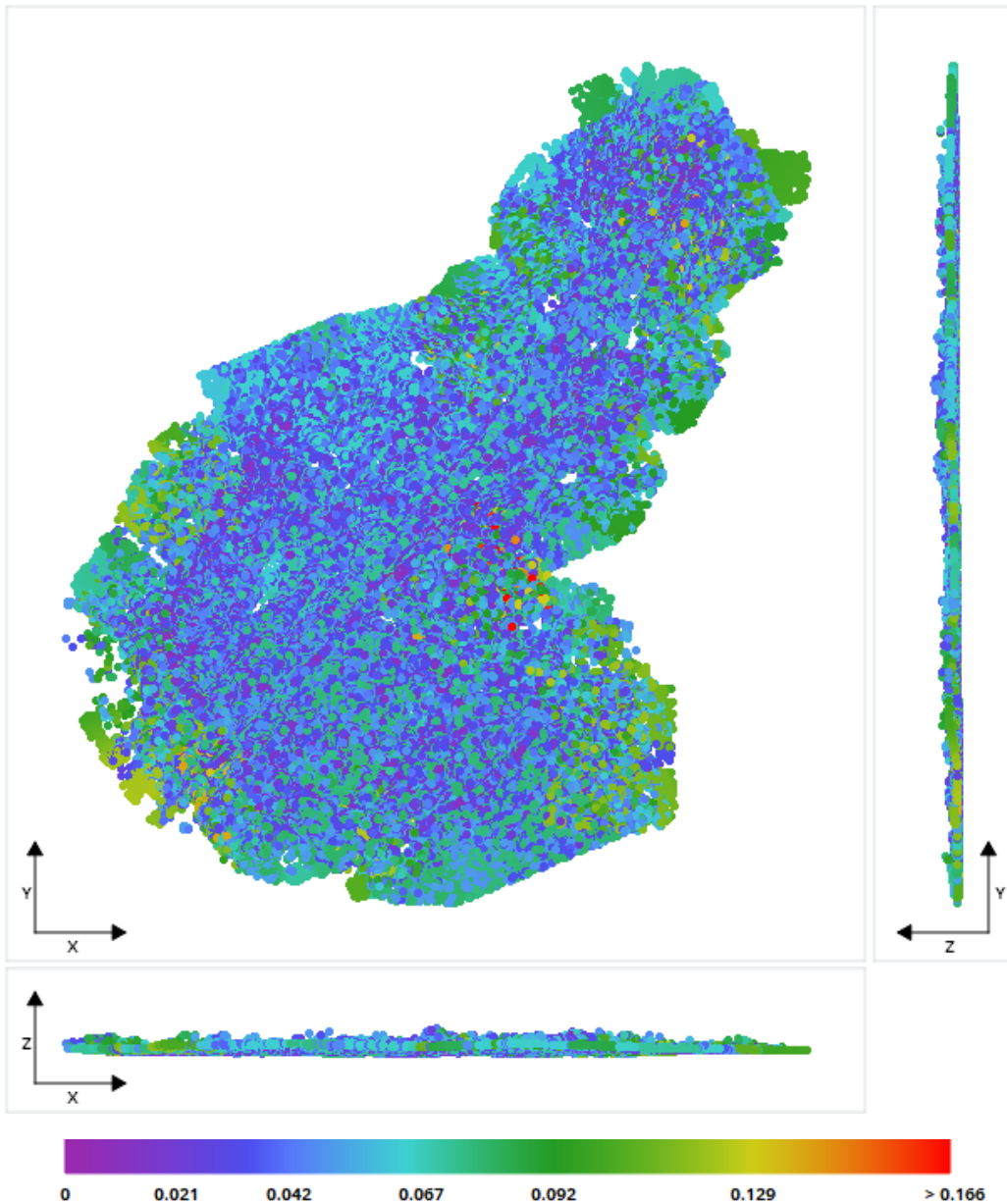
## Photo Matching

### Quality Measures on Tie Points

Generated Tie Points					
Number of Points	Median Number of Photos per Point	Median Number of Points per Photo	Median Reprojection Error [pixels]	RMS of Reprojection Error [pixels]	RMS of Distances to Rays [meters]
185034	4	2038	0.36	0.49	0.1394

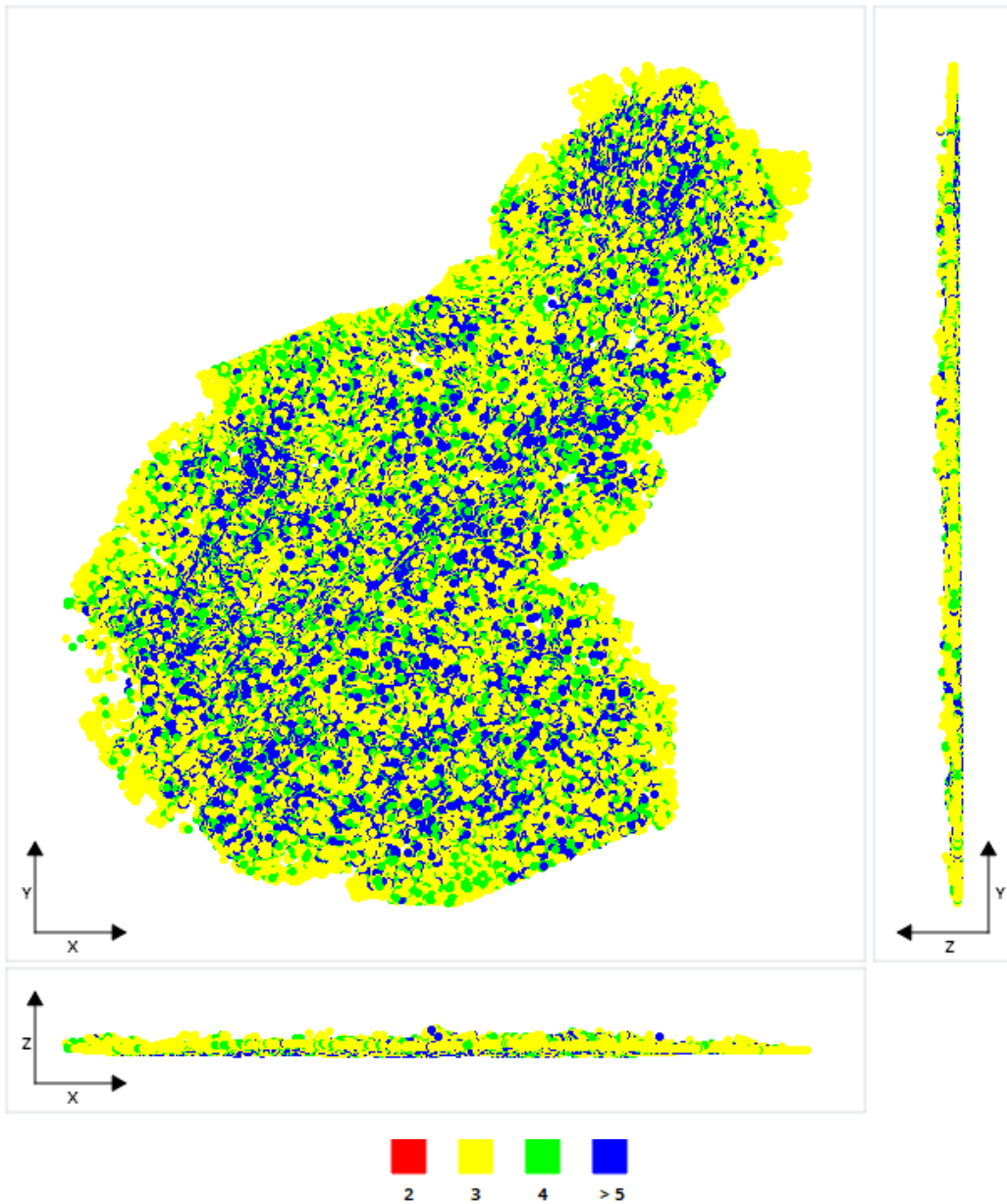
For more information on individual photos, please refer to the [Photos Report](#).

### [Tie Point Position Uncertainties](#)



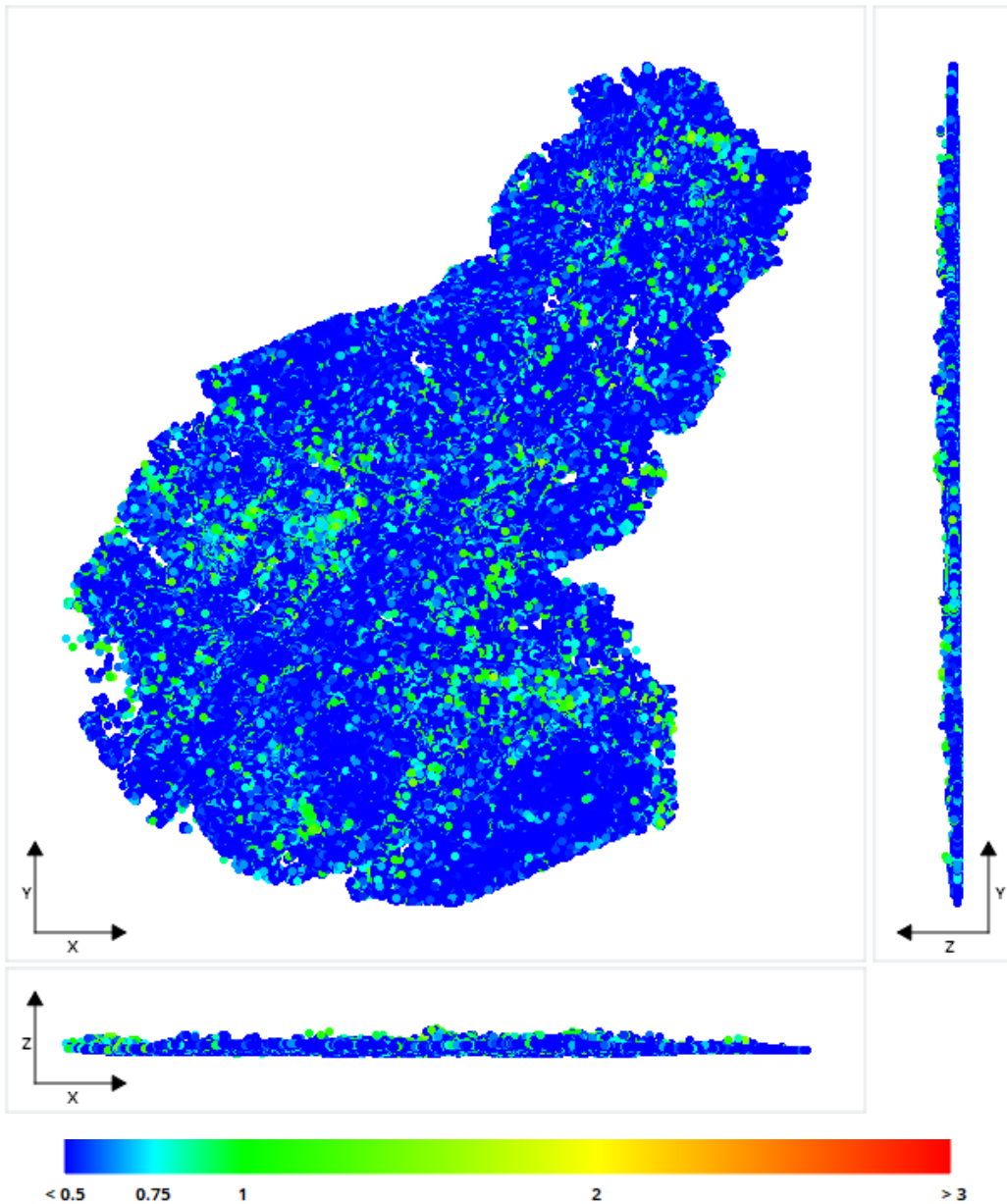
**Position Uncertainties:** Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing uncertainty in the individual point position. The values are in meters, with a minimum uncertainty of **0.0069 meters** and a maximum of **0.2135 meters**. The median position uncertainty equals **0.0421 meters**.

#### Number of Photos Observing the Tie Points



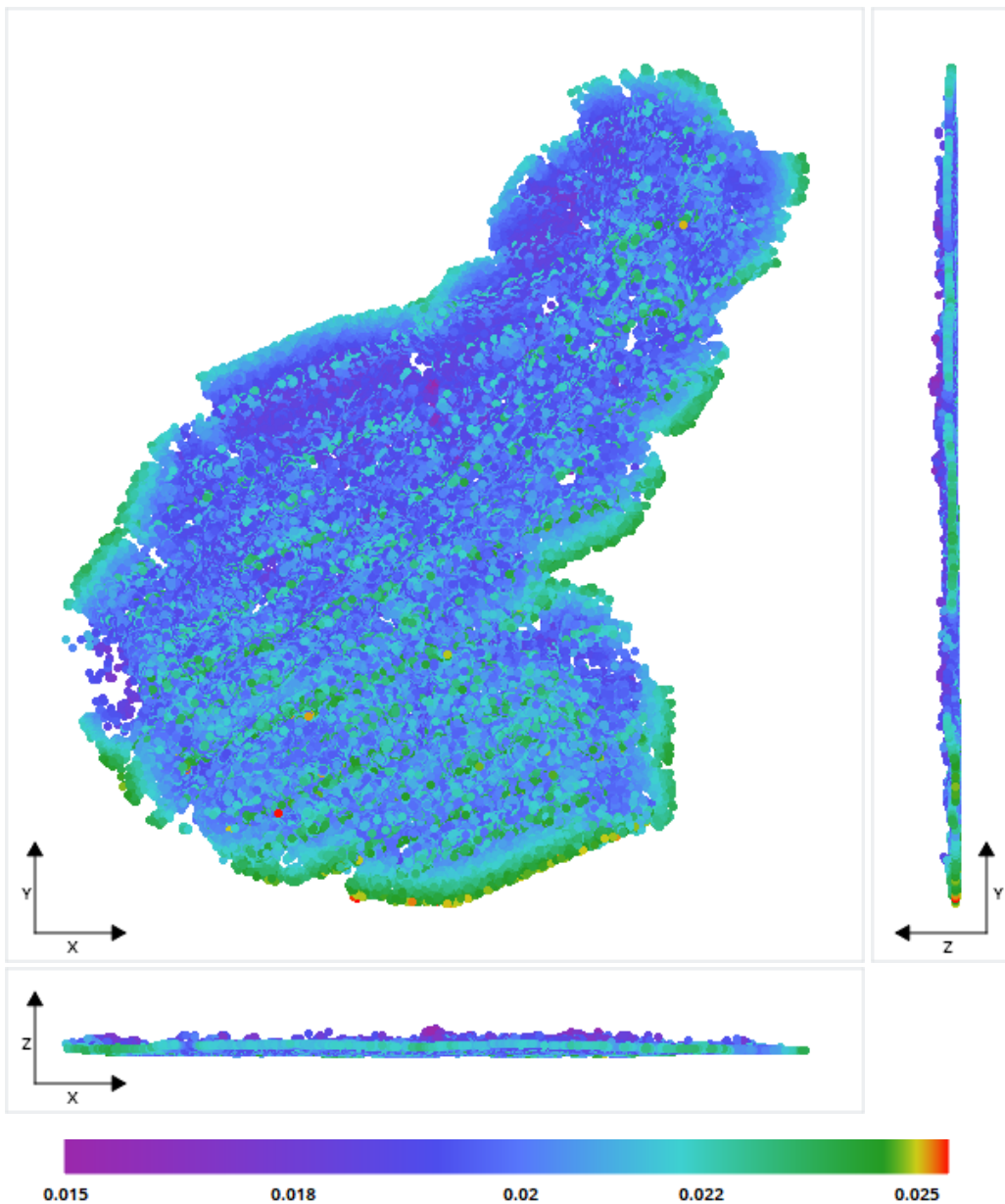
**Number of Observations per Tie Point:** Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing the number of photos that have been used to define each point. The minimum number of photos per tie point is 3 and the maximum is 26. The average number of photos observing a tie point is 5.

### Reprojection Error



**Reprojection Errors per Tie Point:** Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing the reprojection error in pixels. The minimum reprojection error is **0.01 pixels** and the maximum is **1.77 pixels**. The average reprojection error is **0.44 pixels**.

### Tie Point Resolution



**Resolution:** Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing resolution in the individual point position. The values are in meters/pixel, with a minimum resolution of **0.0152 meters/pixel** and a maximum of **0.0251 meters/pixel**. The median resolution equals **0.0203 meters/pixel**.

## Surveys







Number of control points: 34. No control point is used as check point.

Number of user tie points: 0

Number of positioning constraints: 0

## Control Points

Control Points Errors									
Name	Category	Accuracy [meters]	Number of Calibrated Photos	RMS of Reprojection Error [pixels]	RMS of Distances to Rays [meters]	3D Error [meters]	Horizontal Error [meters]	Vertical Error [meters]	
est	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	0 (0 marked photos)						
r1	3D	Horizontal: 0.01;	17 (17	0.57	0.1321	0.005	X: 0.0001;	0.0049	<input checked="" type="checkbox"/>

		Vertical: 0.010	marked photos)				Y: -0.0004		
1	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.010	16 (18 marked photos)	0.65	0.1302	0.0041	X: 0.0022; Y: 0.0008	-0.0034	
s001	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.010	1 (3 marked photos)	1.17	0.384				
s002	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.010	0 (0 marked photos)						
s003	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.010	0 (0 marked photos)						
s004	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.010	0 (0 marked photos)						
s005	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.010	0 (0 marked photos)						
s006	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.010	0 (0 marked photos)						
r2	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	9 (9 marked photos)	0.34	0.091	0.0032	X: -0.0027; Y: 0.0014	-0.0008	
r3	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	11 (11 marked photos)	0.83	0.1303	0.0114	X: 0.0025; Y: 0.0061	0.0094	
s010	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	0 (0 marked photos)						
s011	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	0 (0 marked photos)						
s012	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	0 (0 marked photos)						
s013	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	0 (0 marked photos)						
s014	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	0 (0 marked photos)						
s015	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	0 (0 marked photos)						
s016	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	0 (0 marked photos)						
s017	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	0 (0 marked photos)						
r4	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.010	1 (1 marked photos)	0.46	0.2807				
5	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	14 (14 marked photos)	0.68	0.094	0.0072	X: -0.0023; Y: -0.0068	0.0002	
5a	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	0 (0 marked photos)						
2a	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	0 (0 marked photos)						
7	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	0 (0 marked photos)						
estaca	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	0 (0 marked photos)						
s018	3D	Horizontal: 0.01;	0 (0 marked						

		<b>Vertical: 0.01</b>	<b>photos)</b>						
<b>s019</b>	<b>3D</b>	<b>Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01</b>	<b>0 (0 marked photos)</b>						
<b>s020</b>	<b>3D</b>	<b>Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01</b>	<b>0 (0 marked photos)</b>						
<b>9</b>	<b>3D</b>	<b>Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01</b>	<b>0 (0 marked photos)</b>						
<b>6</b>	<b>3D</b>	<b>Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01</b>	<b>0 (0 marked photos)</b>						
<b>s021</b>	<b>3D</b>	<b>Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01</b>	<b>0 (0 marked photos)</b>						
<b>s022</b>	<b>3D</b>	<b>Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01</b>	<b>0 (0 marked photos)</b>						
<b>s023</b>	<b>3D</b>	<b>Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01</b>	<b>0 (0 marked photos)</b>						
<b>s024</b>	<b>3D</b>	<b>Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01</b>	<b>0 (0 marked photos)</b>						
<b>Global RMS</b>				<b>0.72</b>	<b>0.2052</b>	<b>0.0068</b>	<b>X: 0.0022; Y: 0.0041</b>	<b>0.005</b>	
<b>Median</b>				<b>0.65</b>	<b>0.1303</b>	<b>0.005</b>	<b>X: 0.0001; Y: 0.0008</b>	<b>0.0002</b>	

No data are available

Horizontal and vertical errors are given according to each control point respective spatial reference system



## **ANEXO IV – Compatibilização de drenagem**



**PEDIDO DE ESCLARECIMENTO OU ALTERAÇÃO DE TRABALHOS**

DOCUMENTO Nº:

O B R 1 0 0 0 8 3 2 7 / 0 0 0 9

DATA: 02 / 05 / 2023

**PEDIDO**

Classificação do Pedido:

Esclarecimento

Alteração de Trabalhos

Especialidade:

Geral

CC / OA

Via

Catenária

Assunto:

Caminho Paralelo 2 e Drenagem periférica

Ref. Especificação:

Volume 01 e Especificações técnicas CE

Desenho(s) Nº(s):

FP29-MM-PE-TDR.001.02  
FP29-MM-PE-TDR.002.02  
FP29-MM-PE-TDR.003.02  
FP29-MM-PE-TDR.012.02

Outro Documento:

Resposta até:

09/05/2023

**Descrição do Pedido: Caminho Paralelo 2**

**Preparado por:**

Relativamente à execução do Caminho Paralelo 2 e sua influência com postes Média Tensão existentes, foram identificadas diversas situações para as quais solicitamos V/ análise, parecer e eventual definição de alteração.

Nome: Inês Soares

Assinatura:

Data: 02/05/23

Situação identificada em projecto (CP2 e drenagem periférica – 01/03 e CP2 e drenagem periférica – 02/03):

- necessidade de aterro da linha de água existente, ao longo da qual será implantado o Caminho Paralelo 2;
- Caminho Paralelo 2 encontra-se a uma cota muito superior relativamente aos terrenos agrícolas adjacentes;
- drenagem do Caminho Paralelo 2 prevista entre o novo traçado e terreno agrícola existente, à cota do primeiro (pelo que haverá falta de escoamento no terreno adjacente – situação que não se verifica hoje);
- drenagem do Caminho Paralelo 2, sem ligação

Situação de optimização (CP2 e drenagem periférica – 02/03 e CP2 e drenagem periférica – 03/03):

- não aterro da linha de água existente;
- optimização da drenagem da Linha III e do Caminho Paralelo em traçado alternativo;
- manutenção do traçado em planta do caminho existente, sem interferências nas demais infra-estruturas;
- ligações das drenagens à linha de água existente.

Poderá analisar-se a possibilidade de travessia (Passagem hidráulica) da linha de água existente para acessos a proximidade da Linha III pontualmente, se necessário/requerido.

A situação apresentada, interferirá com:

- . Serviços afetados, diminuindo a sua interferência;
- . Adaptação drenagens longitudinais;
- . Aterro da linha de água existente (considerando que se poderá fazer tratamento da vala evitando o aterro);
- . Aterros necessários face à cota dos terrenos envolventes.

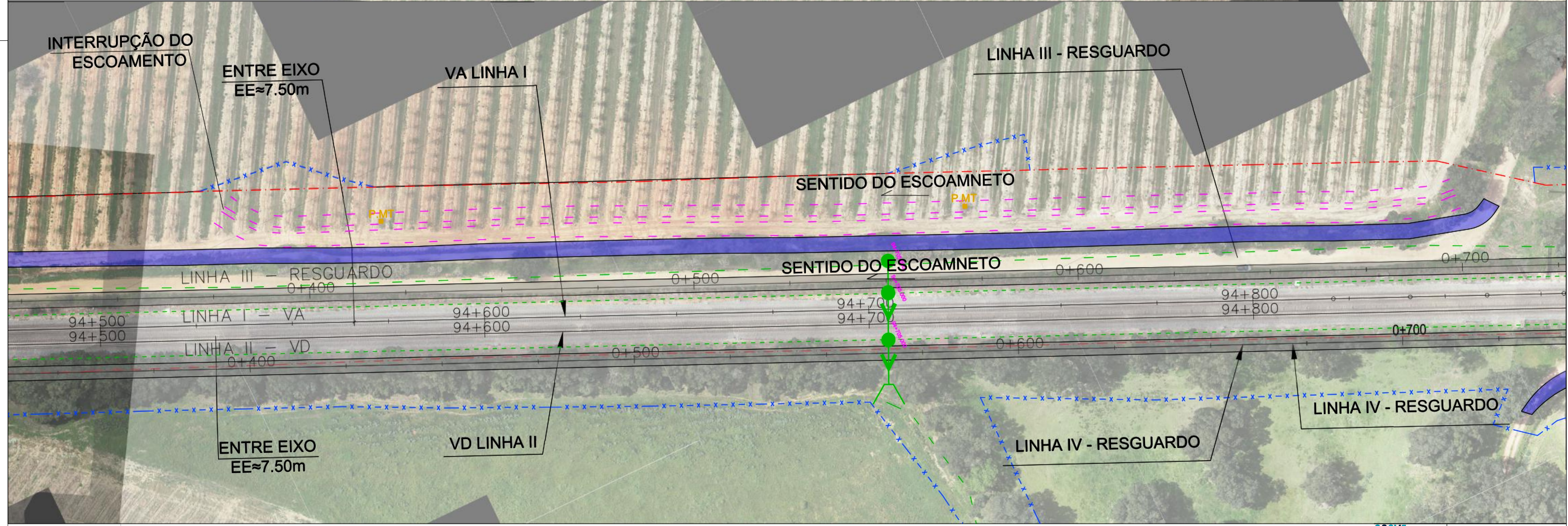
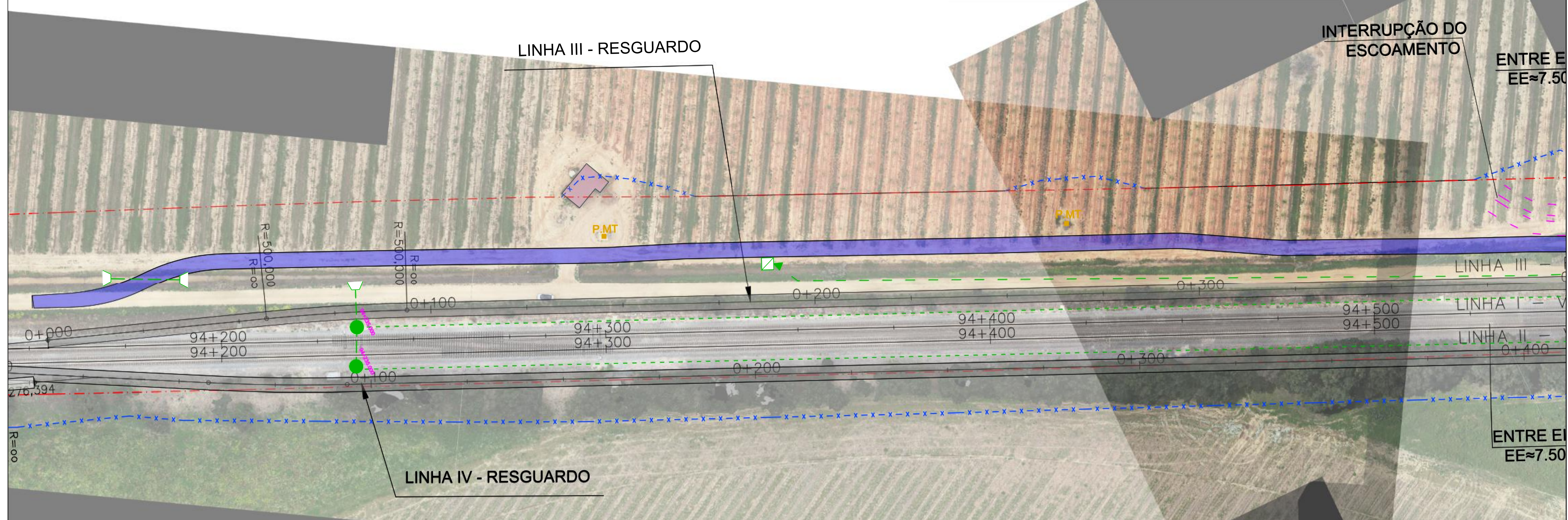
Solicitamos definição de possível alteração ou manutenção do preconizado em projecto.

Docs. Anexos: CP2 e drenagem periférica – 01/03, CP2 e drenagem periférica – 02/03 e CP2 e drenagem periférica – 03/03 (3 desenhos)

**PEDIDO DE ESCLARECIMENTO OU ALTERAÇÃO DE TRABALHOS**

**PARECERES / APROVAÇÕES**

<b>Autorização Diretor da Obra:</b>  Assinatura: Alfredo Cruz Nora Data: 02/05/2023	Necessário Parecer do Dir. Prod. / Dir. Coord.?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
	Necessário Parecer Técnico?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
	Necessária Aprovação do Projetista?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
	Necessária Aprovação do Dono de Obra?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
<b>Parecer Dir. de Produção / Dir. Coordenador:</b>	<b>Parecer Técnico:</b>	<b>Aprovação Projetista:</b>	<b>Resposta do Dono da Obra: (ou Representante)</b>
Nome: Assinatura: Data:	Nome: Assinatura: Data:	Nome: Assinatura: Data:	Nome: Assinatura: Data:  <p style="text-align: center;"> <b>PARA ALTERAÇÃO DE TRABALHOS:</b>  <b>PEDIDO APROVADO?</b>  <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO                 </p>



- LEGENDA:**
- - - Limite de domínio público
  - - - Limite expropriado
  - 94+000 Eixo unifilar vias
  - - - Drenagem periférica de projeto
  - - - Vália trapezoidal de projeto
  - PH a construir
  - Trçado CPZ de projeto
  - Poste Média Tensão existente

**secyr somague**  
**secyr neopul**

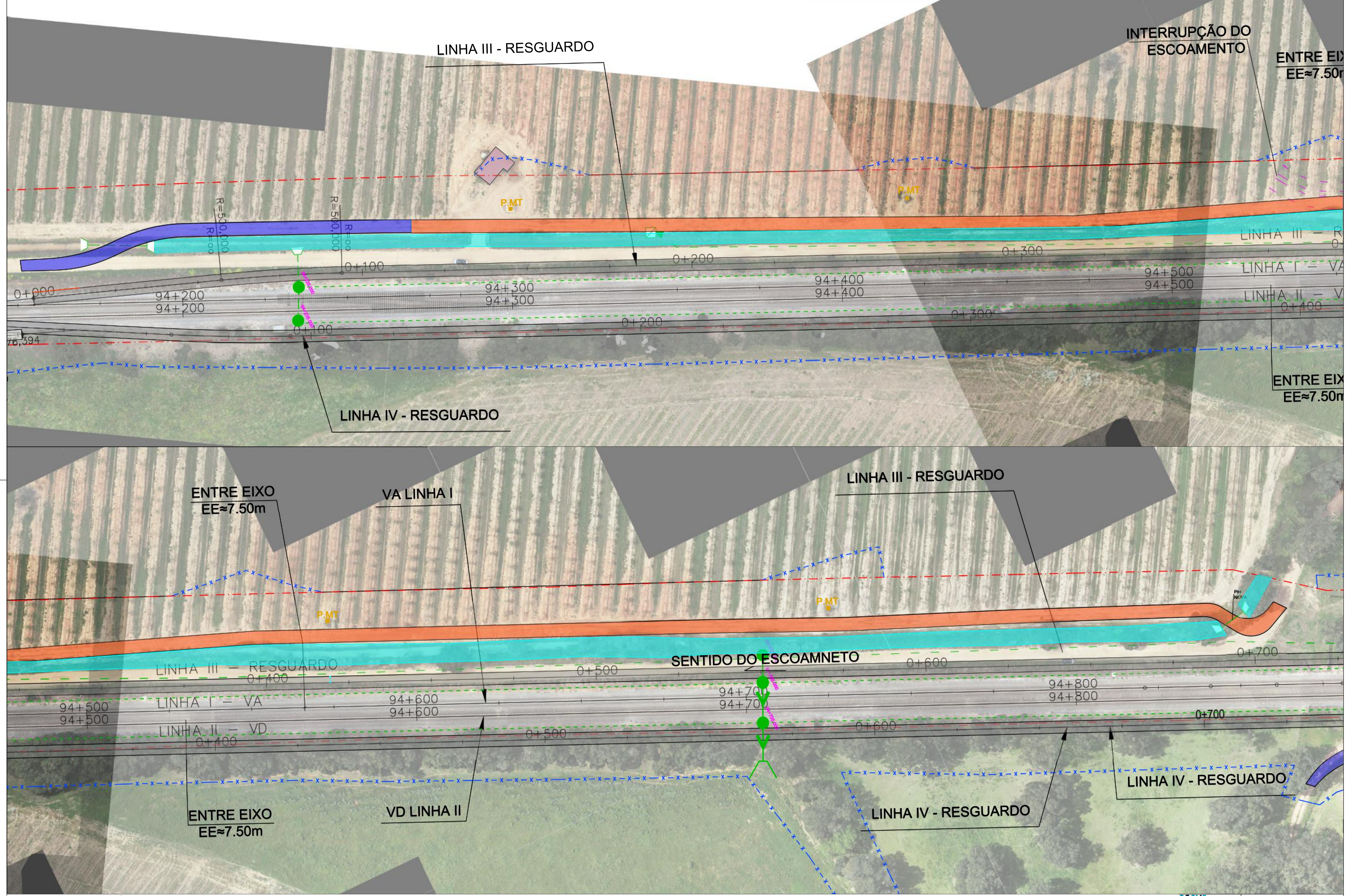
COMPATIBILIZAÇÃO DA PLATAFORMA COM A DRENAGEM PERIFÉRICA - LINHA III  
 SOBREPONÇÃO DAS ESPECIALIDADES DE PROJETO - PLANTA

Projeto: \_\_\_\_\_  
 Desenho: ps  
 Verificação: ps

FOLHA: A1  
 1:500

01\_03 25-abr-23

LINHA DO NORTE  
 MATO MIRANDA/ENTRONCAMENTO  
 TRECHO MATO MIRANDA



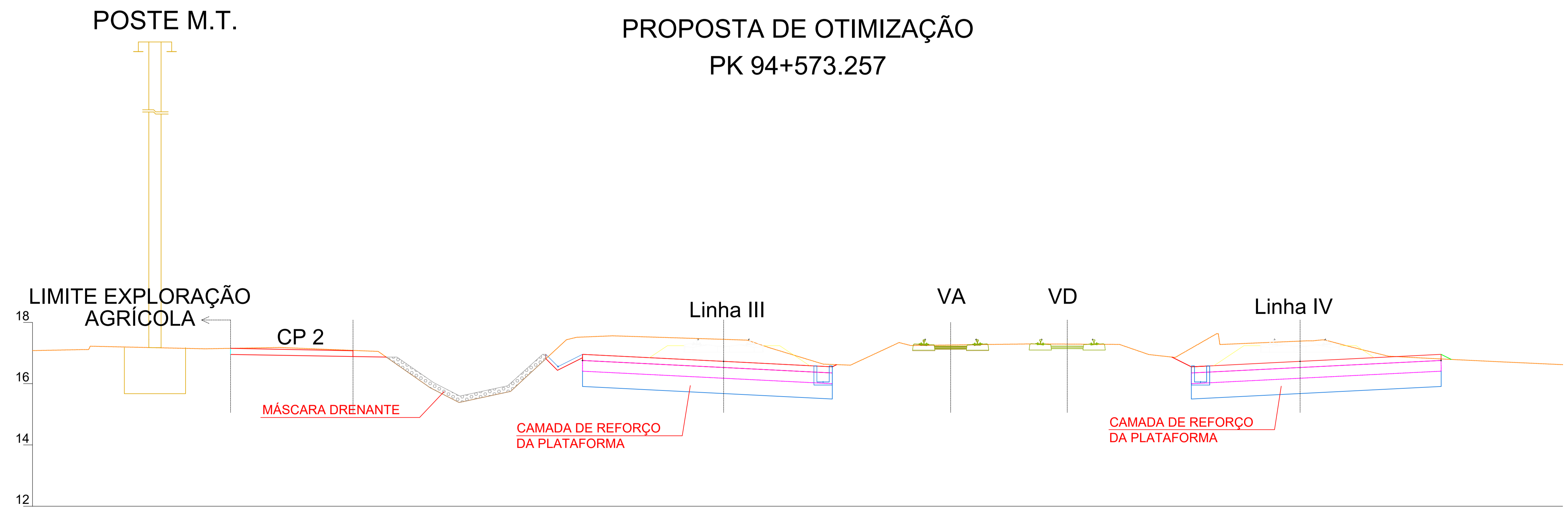
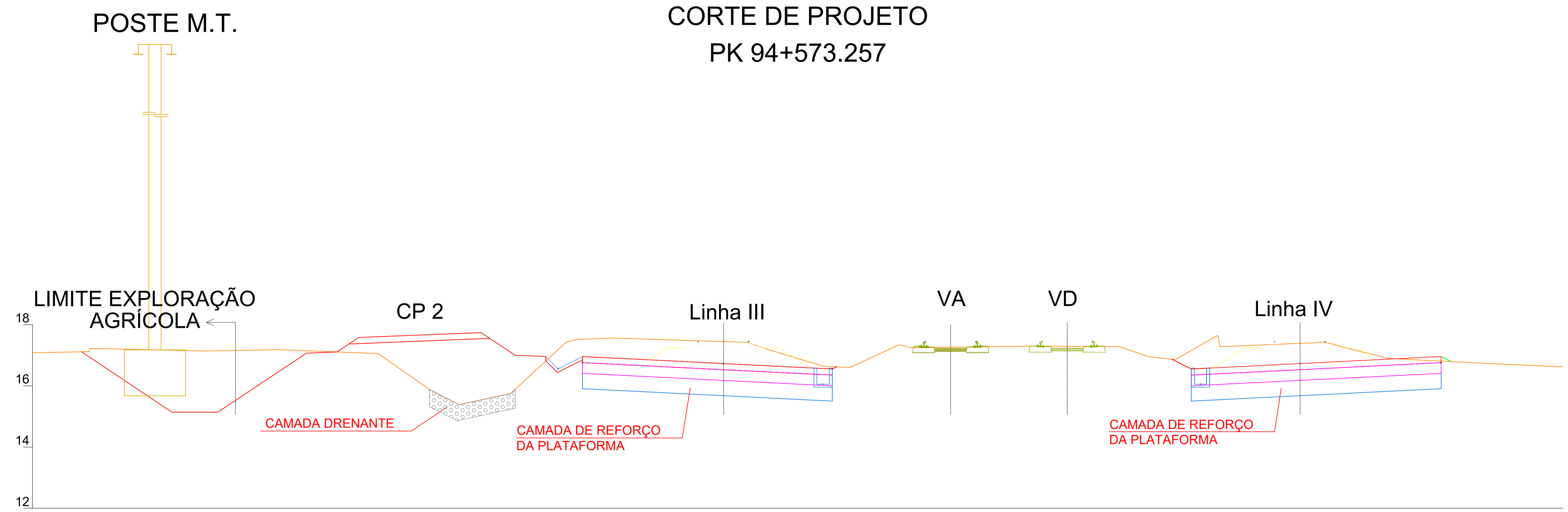
- LEGENDA:**
- - - Limite de domínio público
  - - - Limite expropriado
  - 94+000 Eixo unifilar vias
  - - - Drenagem periférica de projeto
  - Vala trapezoidal existente para requalificar
  - PH a construir
  - Proposta de Traçado para CP2
  - Poste Média Tensão existente

**Sacyr somague**  
**Sacyr neopul**  
 ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURAS

LINHA DO NORTE  
 MATO MIRANDA/ENTRONCAMENTO  
 TRECHO MATO MIRANDA

COMPATIBILIZAÇÃO DA PLATAFORMA COM A DRENAGEM PERIFÉRICA - LINHA III  
 PROPOSTA DE COMPATIBILIZAÇÃO - PLANTA

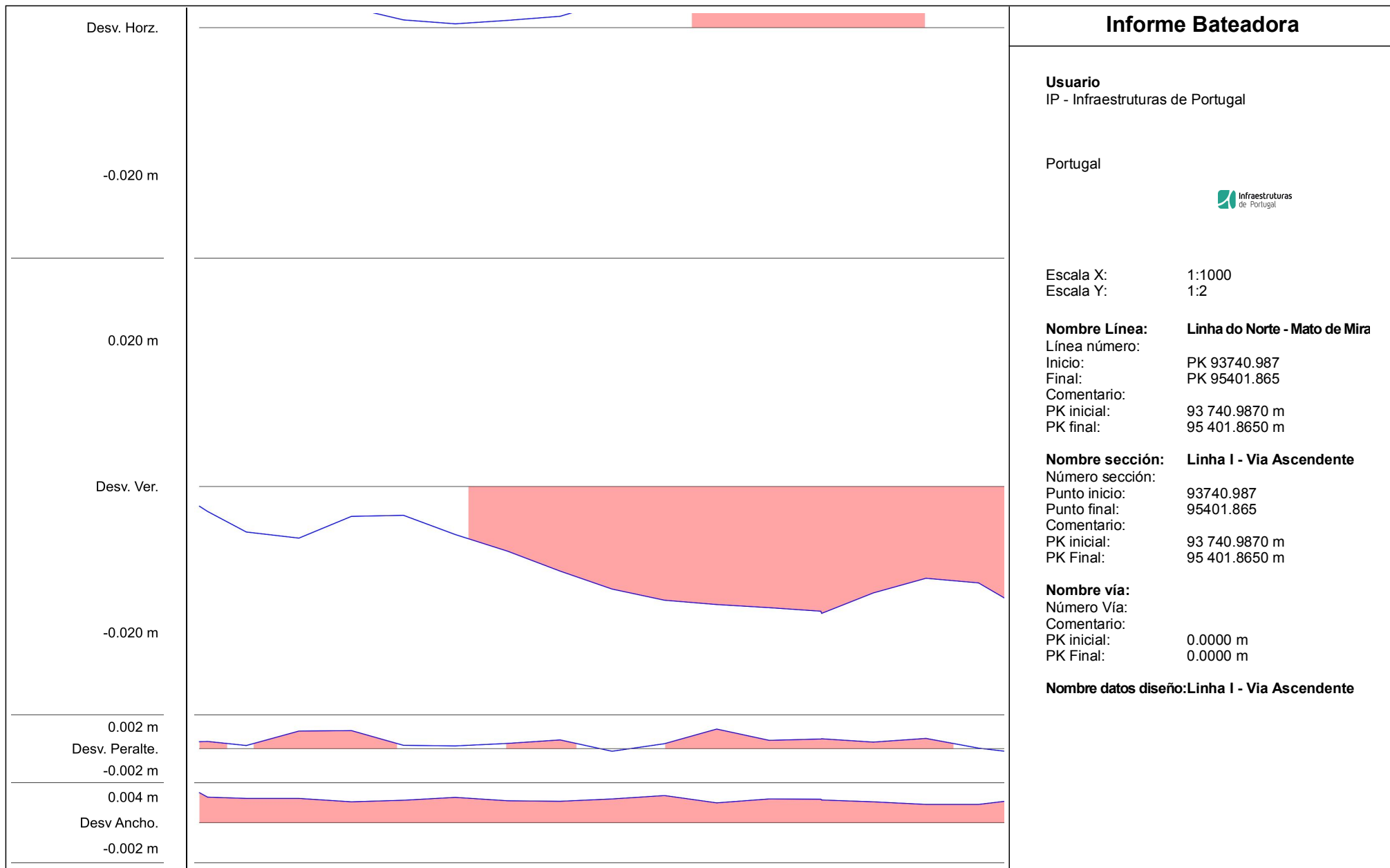
Projeto	Desenho	CP	FOLHA_A1	02_03	25-abr-23
Verificou	PS		1:500		

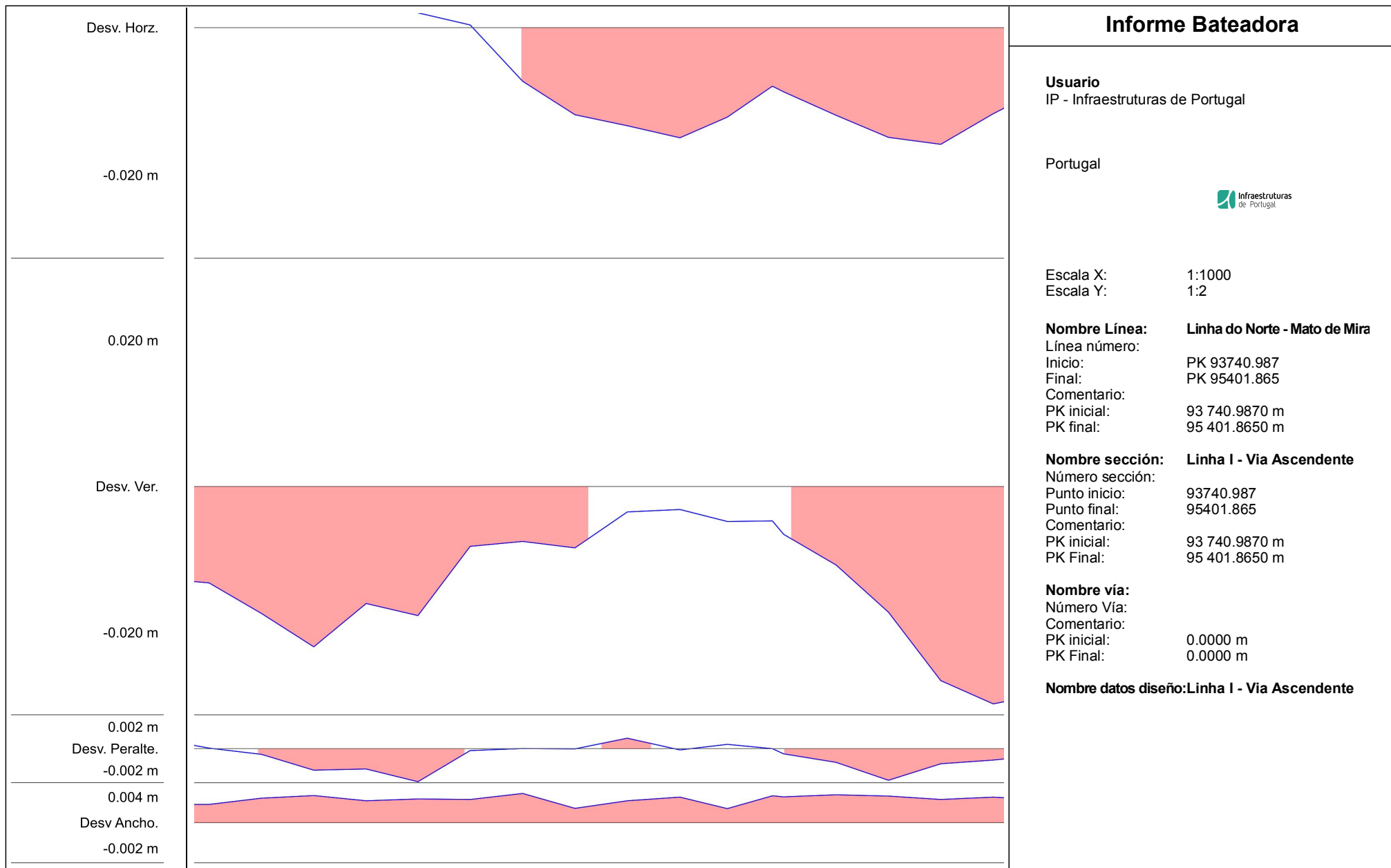


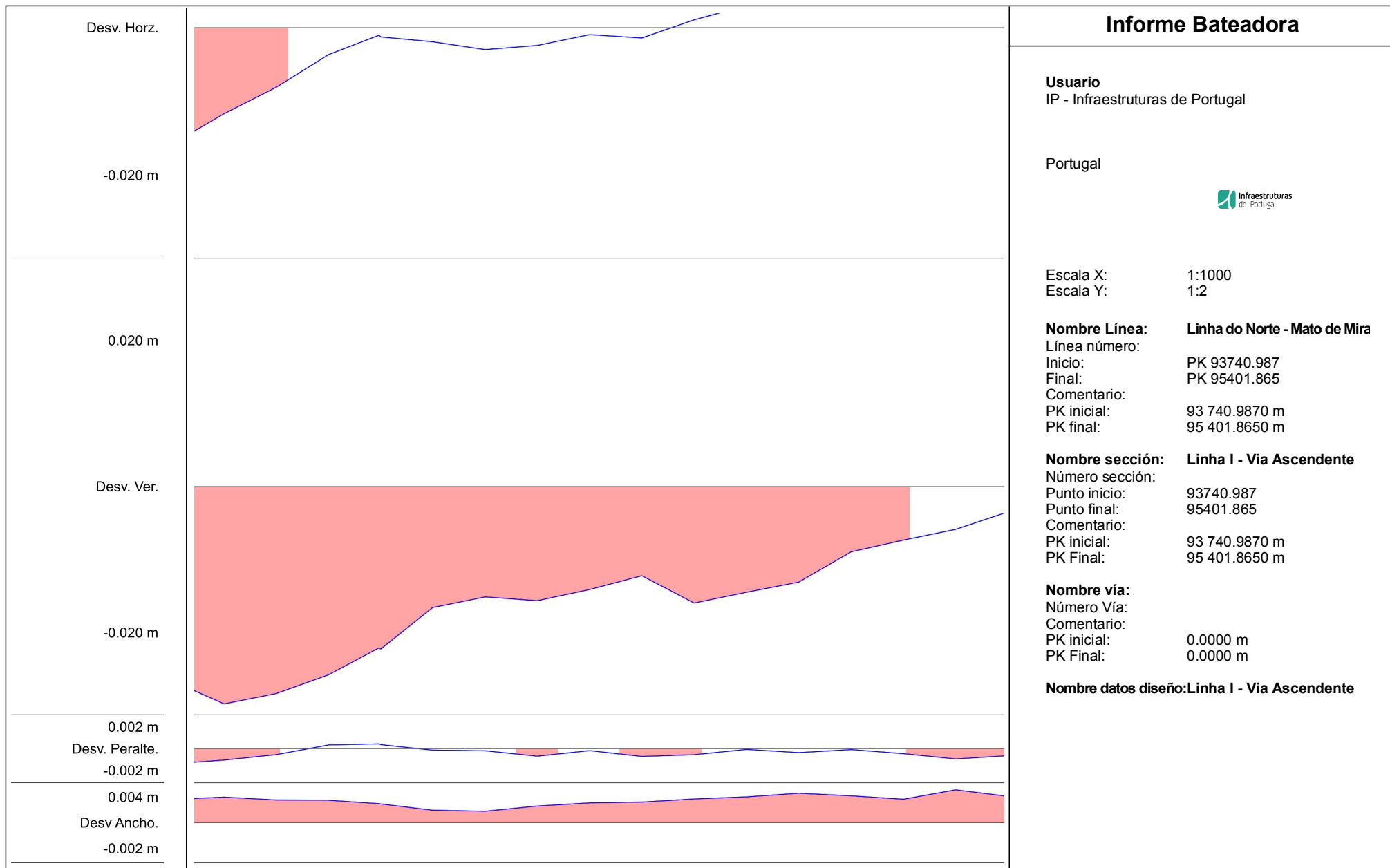


## **ANEXO V – Acompanhamento 3D de atacadeira**









## Informe Bateadora

### Usuario

IP - Infraestruturas de Portugal

Portugal



Escala X: 1:1000  
Escala Y: 1:2

### Nombre Línea: Linha do Norte - Mato de Mira

Línea número:  
Inicio: PK 93740.987  
Final: PK 95401.865  
Comentario:  
PK inicial: 93 740.9870 m  
PK final: 95 401.8650 m

### Nombre sección: Linha I - Via Ascendente

Número sección:  
Punto inicio: 93740.987  
Punto final: 95401.865  
Comentario:  
PK inicial: 93 740.9870 m  
PK Final: 95 401.8650 m

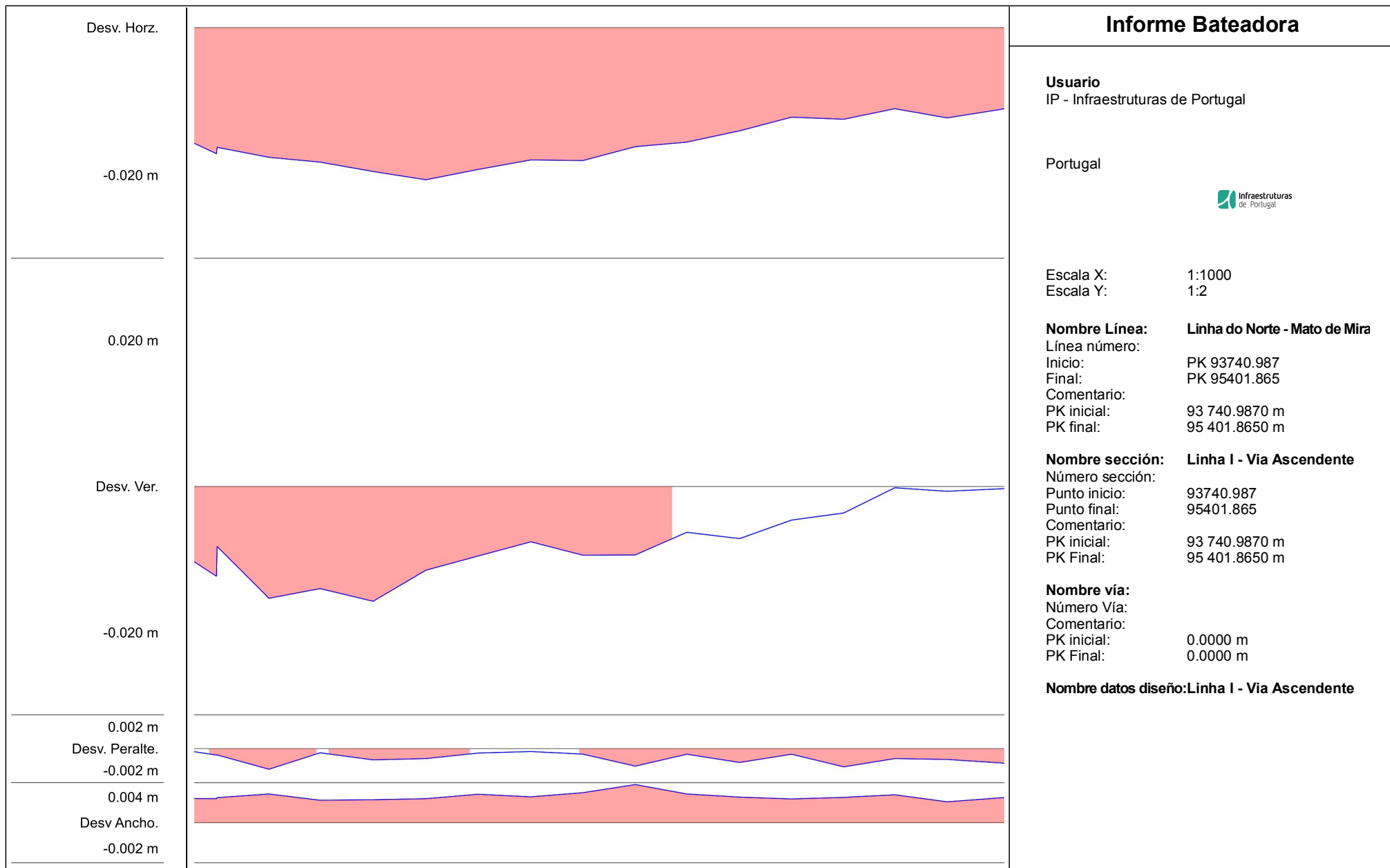
### Nombre vía:

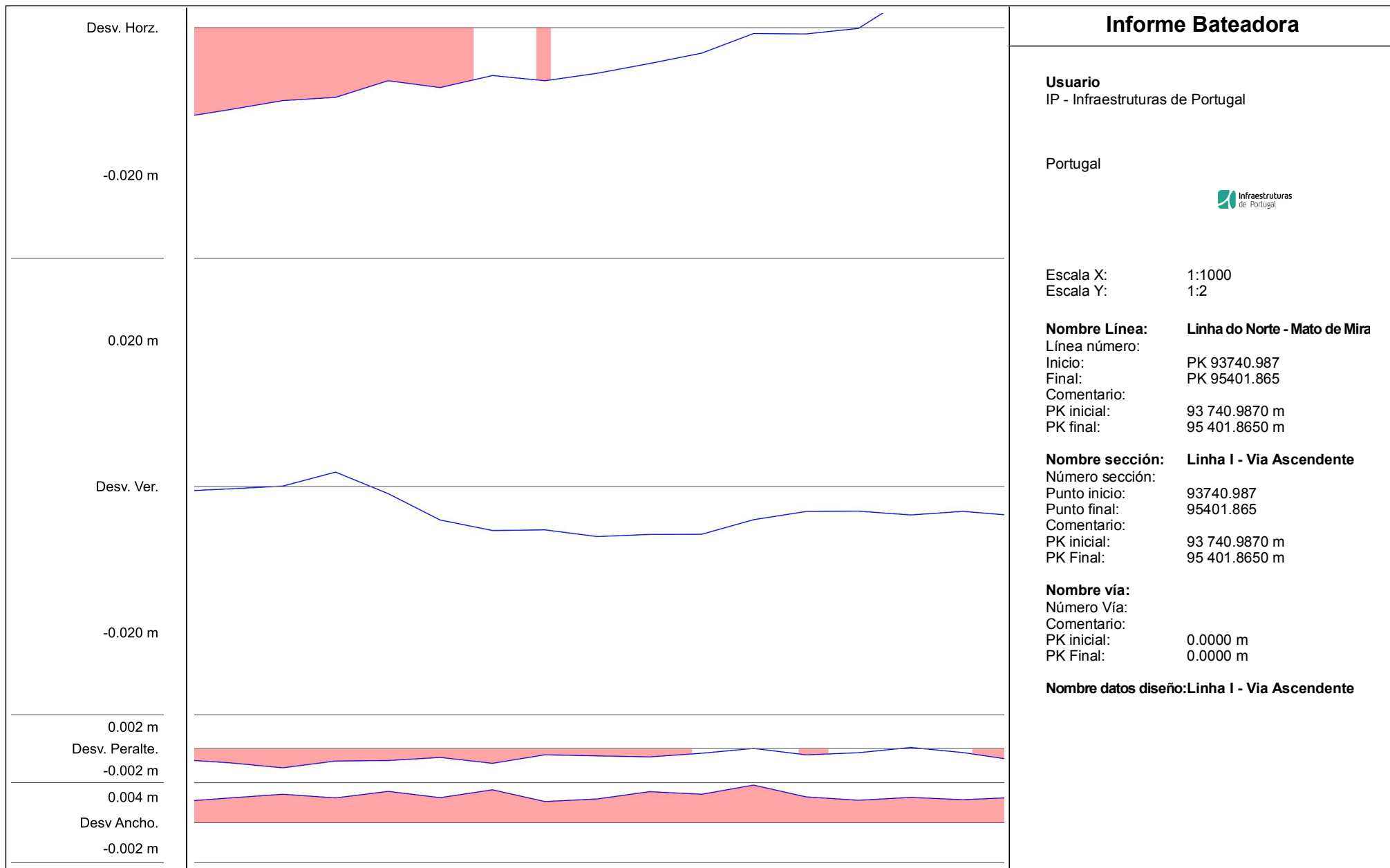
Número Vía:  
Comentario:  
PK inicial: 0.0000 m  
PK Final: 0.0000 m

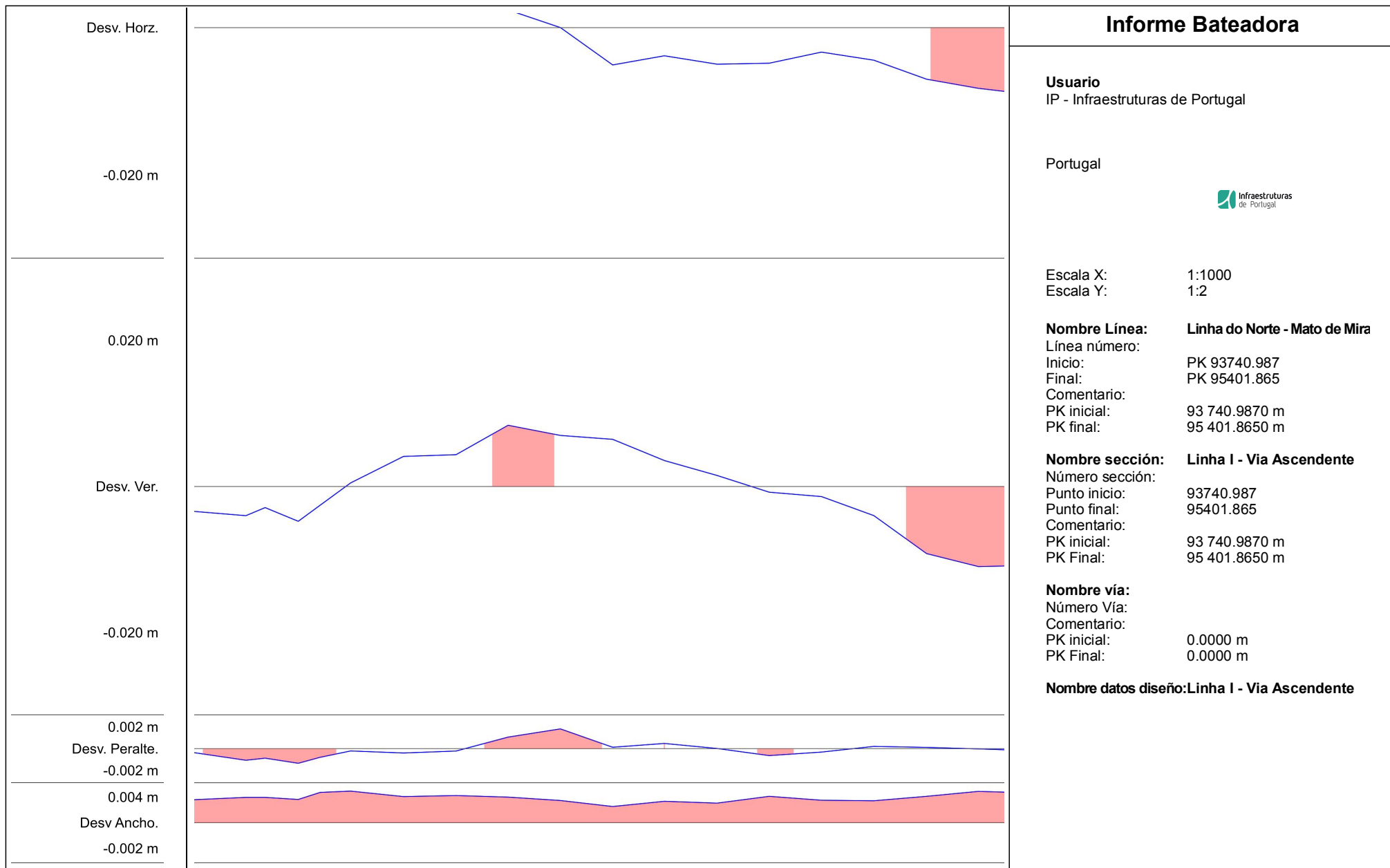
### Nombre datos diseño: Linha I - Via Ascendente











## Informe Bateadora

**Usuario**  
IP - Infraestruturas de Portugal

Portugal



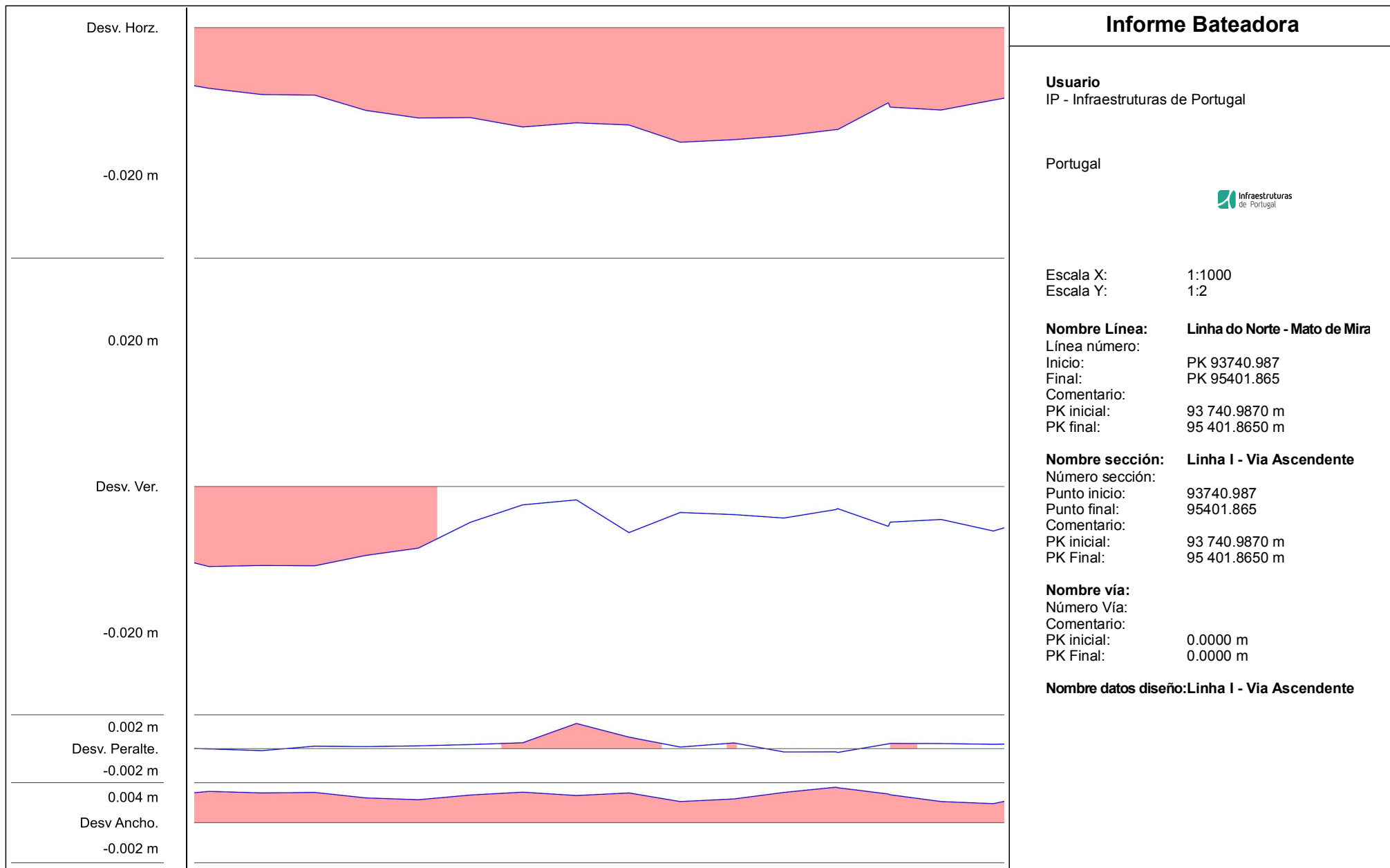
Escala X: 1:1000  
Escala Y: 1:2

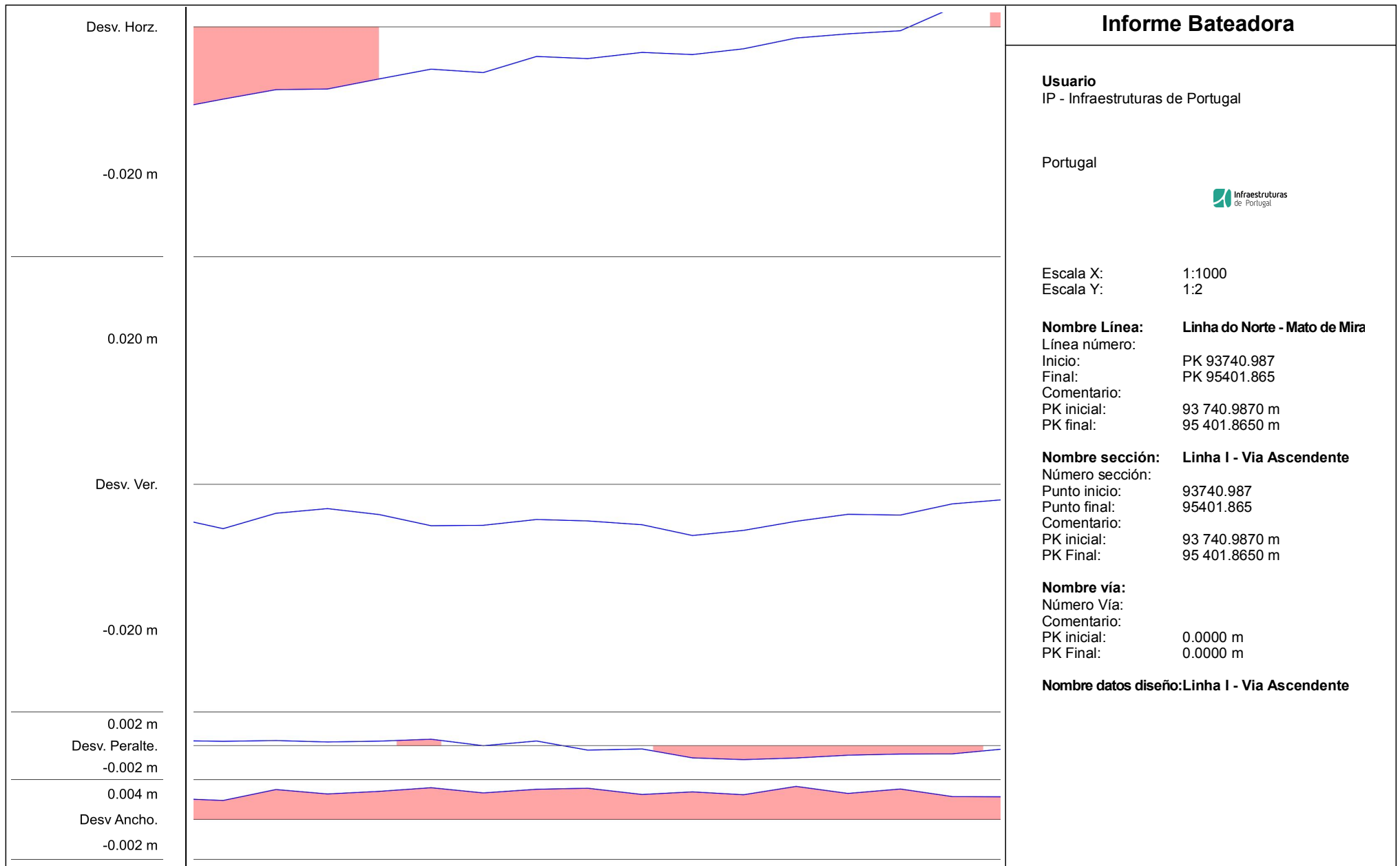
**Nombre Línea:** Linha do Norte - Mato de Mira  
Línea número:  
Inicio: PK 93740.987  
Final: PK 95401.865  
Comentario:  
PK inicial: 93 740.9870 m  
PK final: 95 401.8650 m

**Nombre sección:** Linha I - Via Ascendente  
Número sección:  
Punto inicio: 93740.987  
Punto final: 95401.865  
Comentario:  
PK inicial: 93 740.9870 m  
PK Final: 95 401.8650 m

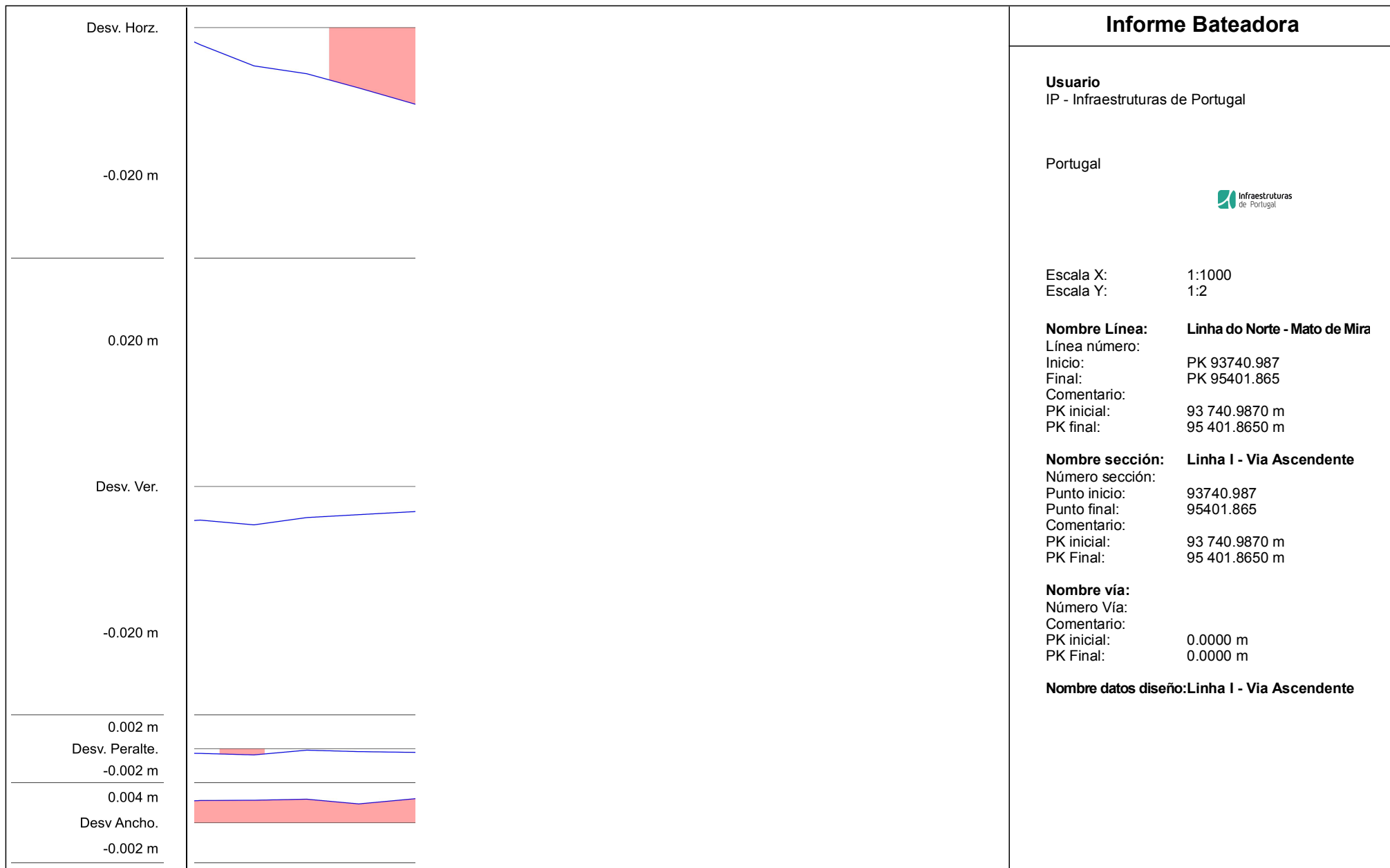
**Nombre vía:**  
Número Vía:  
Comentario:  
PK inicial: 0.0000 m  
PK Final: 0.0000 m

**Nombre datos diseño:** Linha I - Via Ascendente











## Reporte Bateadora

<b>Usuario</b> IP - Infraestructuras de Portugal  Portugal  	<b>Nombre Línea:</b> Linha do Norte - Mato de Miranda Comentario:  <b>Nombre vía:</b> Comentario: PK inicial: 93 741.0310m PK Final: 95 400.9144m	<b>Nombre datos diseño:</b> Linha I - Via Ascendente Fecha validación: 28-08-2023 Comentario: 1  <b>Nombre de la aplicación:</b> Ripagem_VA_MM Aplicación comentario: Run name: 2023_08_31 Via Ascendente  <b>Nombre Configuration</b> SeMato Miranda
--	---	---

PK (calc) [m]	Posición absoluta Pos-Tol. +/- 0.020 m Ht-Tol. +/- 0.020 m		Peralte Tol. +/- 0.002 m			Ancho Tol. -0.002 m a +0.004 m			Flecha Corta Horizontal Tol. +/- 0.002 m			Flecha Corta Vertical Tol. +/- 0.002 m			Alabeo [%] Tol. +/- 1.500 % sobre 3.000 m	Código	Comentario
	Pos [m]	Altura [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]			
93 741.0310	0.011	-0.008	-0.086	-0.083	0.003	1.668	1.679	0.012	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
93 742.5772	0.011	-0.010	-0.086	-0.083	0.003	1.668	1.678	0.010	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
93 749.9927	0.012	-0.017	-0.086	-0.085	0.001	1.668	1.677	0.009	-0.0	-0.0	-0.009	0.0	-0.0	-0.002	-0.021		
93 760.0597	0.012	-0.020	-0.086	-0.079	0.007	1.668	1.677	0.009	-0.0	-0.0	-0.012	0.0	-0.0	-0.003	0.055		
93 770.0975	0.008	-0.011	-0.086	-0.079	0.007	1.668	1.676	0.008	-0.0	-0.0	-0.011	0.0	0.0	0.002	0.002		
93 780.0594	0.003	-0.011	-0.086	-0.085	0.001	1.668	1.677	0.009	-0.0	-0.0	-0.010	0.0	0.0	0.002	-0.057		
93 789.9663	0.001	-0.018	-0.086	-0.085	0.001	1.668	1.678	0.010	-0.0	-0.0	-0.010	0.0	-0.0	-0.000	-0.002		
93 799.9600	0.003	-0.025	-0.086	-0.084	0.002	1.668	1.676	0.008	-0.0	-0.0	-0.011	0.0	0.0	0.000	0.010		
93 810.0126	0.004	-0.032	-0.083	-0.080	0.003	1.668	1.676	0.008	-0.0	-0.0	-0.009	0.0	0.0	0.000	0.041		
93 819.9459	0.010	-0.039	-0.075	-0.076	-0.001	1.668	1.677	0.009	-0.0	-0.0	-0.009	0.0	-0.0	-0.000	0.038		
93 829.9683	0.016	-0.044	-0.067	-0.065	0.002	1.668	1.678	0.010	-0.0	-0.0	-0.008	-0.0	-0.0	-0.001	0.110		
93 839.9621	0.023	-0.045	-0.059	-0.051	0.008	1.668	1.676	0.008	-0.0	-0.0	-0.009	0.0	-0.0	-0.000	0.137		
93 850.0083	0.025	-0.046	-0.051	-0.048	0.003	1.668	1.677	0.009	-0.0	-0.0	-0.007	0.0	0.0	0.000	0.038		
93 859.9025	0.025	-0.048	-0.043	-0.039	0.004	1.668	1.677	0.009	-0.0	-0.0	-0.006	0.0	-0.0	-0.002	0.087		
93 860.0099	0.024	-0.049	-0.043	-0.039	0.004	1.668	1.677	0.009	-0.0	-0.0	-0.005	-0.0	-0.0	-0.003	0.089		
93 869.9054	0.024	-0.041	-0.035	-0.032	0.003	1.668	1.676	0.008	-0.0	-0.0	-0.005	0.0	0.0	0.001	0.068		
93 879.9829	0.020	-0.035	-0.026	-0.022	0.004	1.668	1.675	0.007	-0.0	-0.0	-0.003	0.0	0.0	0.002	0.095		
93 890.0374	0.017	-0.037	-0.018	-0.018	0.000	1.668	1.675	0.007	-0.0	-0.0	-0.002	0.0	0.0	0.002	0.044		
93 900.0781	0.016	-0.049	-0.010	-0.012	-0.002	1.668	1.677	0.009	-0.0	-0.0	-0.002	0.0	0.0	0.000	0.058		
93 910.0649	0.013	-0.061	-0.002	-0.010	-0.008	1.668	1.678	0.010	-0.0	-0.0	-0.001	-0.0	-0.0	-0.007	0.021		
93 920.0964	0.008	-0.045	0.000	-0.008	-0.008	1.668	1.676	0.008	-0.0	0.0	0.001	-0.0	0.0	0.005	0.023		
93 929.9952	0.006	-0.049	0.000	-0.013	-0.013	1.668	1.677	0.009	0.0	-0.0	-0.001	0.0	-0.0	-0.008	-0.049		
93 939.9896	0.001	-0.023	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.677	0.009	0.0	-0.0	-0.004	0.0	0.0	0.006	0.119		
93 950.0389	-0.021	-0.021	0.000	0.000	0.000	1.668	1.679	0.011	0.0	0.0	0.002	0.0	0.0	0.001	0.008		

Posición: signo positivo --> la vía debe ser corregida hacia la izquierda, Altura: signo negativo --> se debe elevar la vía, Peralte: signo positivo --> la vía debe rotarse a la izquierda

## Reporte Bateadora

<b>Usuario</b> IP - Infraestructuras de Portugal  Portugal  	<b>Nombre Línea:</b> Linha do Norte - Mato de Miranda Comentario:  <b>Nombre vía:</b> Comentario: PK inicial: 93 741.0310m PK Final: 95 400.9144m	<b>Nombre datos diseño:</b> Linha I - Via Ascendente Fecha validación: 28-08-2023 Comentario: 1  <b>Nombre de la aplicación:</b> Ripagem_VA_MM Aplicación comentario: Run name: 2023_08_31 Via Ascendente  <b>Nombre Configuration</b> SeMato Miranda
--	---	---

PK (calc) [m]	Posición absoluta Pos-Tol. +/- 0.020 m Ht-Tol. +/- 0.020 m		Peralte Tol. +/- 0.002 m			Ancho Tol. -0.002 m a +0.004 m			Flecha Corta Horizontal Tol. +/- 0.002 m			Flecha Corta Vertical Tol. +/- 0.002 m			Alabeo [%] Tol. +/- 1.500 % sobre 3.000 m	Código	Comentario
	Pos [m]	Altura [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]			
93 960.0364	-0.033	-0.023	0.000	-0.000	-0.000	1.668	1.673	0.006	0.0	0.0	0.002	0.0	-0.0	-0.004	-0.001		
93 970.0540	-0.038	-0.010	0.000	0.004	0.004	1.668	1.676	0.008	0.0	-0.0	-0.000	0.0	0.0	0.003	0.041		
93 980.1224	-0.042	-0.009	0.000	-0.000	-0.000	1.668	1.678	0.010	-0.0	0.0	0.003	-0.0	0.0	0.001	-0.045		
93 989.1827	-0.034	-0.013	0.000	0.002	0.002	1.668	1.673	0.005	0.0	0.0	0.001	0.0	-0.0	-0.001	0.024		
93 997.8097	-0.022	-0.013	0.000	0.000	0.000	1.668	1.678	0.010	0.0	-0.0	-0.006	0.0	0.0	0.004	-0.019		
93 999.9608	-0.025	-0.018	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.678	0.010	0.0	-0.0	-0.003	0.0	0.0	0.000	-0.072		
94 009.9933	-0.034	-0.030	0.000	-0.005	-0.005	1.668	1.679	0.011	-0.0	0.0	0.000	0.0	0.0	0.002	-0.032		
94 020.0067	-0.042	-0.048	0.000	-0.012	-0.012	1.668	1.678	0.010	-0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	0.002	-0.068		
94 030.0218	-0.045	-0.074	0.000	-0.006	-0.006	1.668	1.677	0.009	0.0	0.0	0.004	0.0	-0.0	-0.004	0.063		
94 040.0652	-0.033	-0.083	0.000	-0.004	-0.004	1.668	1.678	0.010	0.0	-0.0	-0.000	0.0	-0.0	-0.003	0.014		
94 050.0358	-0.023	-0.079	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.677	0.009	0.0	0.0	0.001	0.0	-0.0	-0.001	0.021		
94 060.0285	-0.010	-0.072	0.000	0.001	0.001	1.668	1.677	0.009	0.0	-0.0	-0.001	0.0	-0.0	-0.001	0.037		
94 069.6665	-0.003	-0.062	0.000	0.002	0.002	1.668	1.675	0.007	0.0	-0.0	-0.003	0.0	-0.0	-0.001	0.004		
94 070.0263	-0.004	-0.062	0.000	0.002	0.002	1.668	1.675	0.007	0.0	-0.0	-0.002	0.0	-0.0	-0.002	-0.006		
94 079.9355	-0.005	-0.046	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.673	0.005	0.0	-0.0	-0.000	0.0	0.0	0.003	-0.021		
94 089.9731	-0.008	-0.042	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.672	0.004	0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	0.001	-0.002		
94 099.9670	-0.007	-0.044	0.000	-0.003	-0.003	1.668	1.674	0.006	0.0	0.0	0.001	0.0	-0.0	-0.001	-0.021		
94 109.9670	-0.003	-0.039	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.676	0.008	0.0	-0.0	-0.001	0.0	-0.0	-0.000	0.021		
94 119.9566	-0.004	-0.034	0.000	-0.003	-0.003	1.668	1.676	0.008	0.0	0.0	0.002	0.0	0.0	0.004	-0.022		
94 129.9582	0.003	-0.045	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.677	0.009	0.0	-0.0	-0.000	0.0	-0.0	-0.004	0.007		
94 139.9672	0.008	-0.040	0.000	-0.000	-0.000	1.668	1.678	0.010	0.0	-0.0	-0.001	0.0	0.0	0.000	0.020		
94 149.9658	0.010	-0.037	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.679	0.011	-0.0	0.0	0.000	0.0	-0.0	-0.002	-0.012		
94 159.9845	0.014	-0.025	0.000	-0.000	-0.000	1.668	1.678	0.010	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0	0.002	0.012		
94 169.9965	0.017	-0.021	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.677	0.009	0.0	-0.0	-0.001	0.0	0.0	0.000	-0.016		

Posición: signo positivo --> la vía debe ser corregida hacia la izquierda, Altura: signo negativo --> se debe elevar la vía, Peralte: signo positivo --> la vía debe rotarse a la izquierda

## Reporte Bateadora

<b>Usuario</b> IP - Infraestructuras de Portugal  Portugal  	<b>Nombre Línea:</b> Linha do Norte - Mato de Miranda Comentario:  <b>Nombre vía:</b> Comentario: PK inicial: 93 741.0310m PK Final: 95 400.9144m	<b>Nombre datos diseño:</b> Linha I - Via Ascendente Fecha validación: 28-08-2023 Comentario: 1  <b>Nombre de la aplicación:</b> Ripagem_VA_MM Aplicación comentario: Run name: 2023_08_31 Via Ascendente  <b>Nombre Configuration</b> SeMato Miranda
---	---	---

PK (calc) [m]	Posición absoluta Pos-Tol. +/- 0.020 m Ht-Tol. +/- 0.020 m		Peralte Tol. +/- 0.002 m			Ancho Tol. -0.002 m a +0.004 m			Flecha Corta Horizontal Tol. +/- 0.002 m			Flecha Corta Vertical Tol. +/- 0.002 m			Alabeo [%] Tol. +/- 1.500 % sobre 3.000 m	Código	Comentario
	Pos [m]	Altura [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]			
94 179.9686	0.019	-0.016	0.000	-0.004	-0.004	1.668	1.681	0.013	0.0	-0.0	-0.001	0.0	-0.0	-0.001	-0.020		
94 189.9993	0.015	-0.010	0.000	-0.003	-0.003	1.668	1.678	0.010	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0	0.000	0.012		
94 200.0264	0.010	-0.005	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.675	0.007	0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	0.001	0.020		
94 209.9927	0.007	-0.002	0.000	-0.000	-0.000	1.668	1.677	0.009	0.0	-0.0	-0.002	-0.0	0.0	0.000	0.004		
94 220.0149	-0.004	-0.000	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.677	0.009	0.0	0.0	0.001	0.0	-0.0	-0.002	-0.012		
94 230.0224	-0.012	0.009	0.000	-0.003	-0.003	1.668	1.678	0.010	0.0	-0.0	-0.001	0.0	0.0	0.001	-0.011		
94 240.0353	-0.022	0.012	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.676	0.008	0.0	0.0	0.002	0.0	-0.0	-0.001	0.003		
94 250.0307	-0.024	0.020	0.000	-0.004	-0.004	1.668	1.679	0.011	0.0	0.0	0.003	-0.0	-0.0	-0.000	-0.016		
94 260.0885	-0.012	0.027	0.000	0.006	0.006	1.668	1.675	0.007	0.0	0.0	0.002	0.0	0.0	0.003	0.096		
94 269.9579	0.009	0.025	0.000	0.011	0.011	1.668	1.679	0.011	0.0	-0.0	-0.007	0.0	0.0	0.004	0.047		
94 280.0057	0.002	0.004	0.000	-0.000	-0.000	1.668	1.675	0.007	0.0	0.0	0.000	0.0	-0.0	-0.002	-0.107		
94 290.0124	-0.004	-0.008	0.000	-0.000	-0.000	1.668	1.676	0.008	0.0	-0.0	-0.001	0.0	0.0	0.000	0.002		
94 300.0548	-0.013	-0.021	0.000	-0.000	-0.000	1.668	1.678	0.010	0.0	0.0	0.001	0.0	-0.0	-0.000	-0.004		
94 310.0512	-0.018	-0.033	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.676	0.008	0.0	0.0	0.003	0.0	-0.0	-0.003	-0.015		
94 320.0663	-0.012	-0.032	0.000	0.001	0.001	1.668	1.676	0.008	0.0	-0.0	-0.002	0.0	-0.0	-0.000	0.030		
94 330.0817	-0.012	-0.032	0.000	0.001	0.001	1.668	1.676	0.008	0.0	0.0	0.002	0.0	-0.0	-0.002	0.003		
94 340.0823	-0.006	-0.026	0.000	0.000	0.000	1.668	1.679	0.011	0.0	-0.0	-0.002	-0.0	0.0	0.002	-0.012		
94 350.0898	-0.007	-0.028	0.000	0.001	0.001	1.668	1.677	0.009	0.0	-0.0	-0.000	0.0	0.0	0.001	0.008		
94 360.0989	-0.009	-0.033	0.000	0.001	0.001	1.668	1.677	0.009	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0	0.000	0.002		
94 370.1118	-0.010	-0.038	0.000	0.002	0.002	1.668	1.678	0.010	0.0	-0.0	-0.002	-0.0	-0.0	-0.003	0.013		
94 380.1237	-0.019	-0.032	0.000	0.001	0.001	1.668	1.676	0.008	0.0	0.0	0.002	0.0	-0.0	-0.000	-0.015		
94 390.1217	-0.022	-0.026	0.000	0.002	0.002	1.668	1.675	0.007	0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	0.000	0.012		
94 400.1297	-0.022	-0.021	0.000	0.002	0.002	1.668	1.677	0.009	0.0	-0.0	-0.001	-0.0	-0.0	-0.001	0.001		
94 410.1362	-0.026	-0.013	0.000	0.001	0.001	1.668	1.676	0.008	0.0	-0.0	-0.000	0.0	-0.0	-0.001	-0.014		

Posición: signo positivo --> la vía debe ser corregida hacia la izquierda, Altura: signo negativo --> se debe elevar la vía, Peralte: signo positivo --> la vía debe rotarse a la izquierda


## Reporte Bateadora

<b>Usuario</b> IP - Infraestructuras de Portugal  Portugal  	<b>Nombre Línea:</b> Linha do Norte - Mato de Miranda Comentario:  <b>Nombre vía:</b> Comentario: PK inicial: 93 741.0310m PK Final: 95 400.9144m	<b>Nombre datos diseño:</b> Linha I - Via Ascendente Fecha validación: 28-08-2023 Comentario: 1  <b>Nombre de la aplicación:</b> Ripagem_VA_MM Aplicación comentario: Run name: 2023_08_31 Via Ascendente  <b>Nombre Configuration</b> SeMato Miranda
---	---	---

PK (calc) [m]	Posición absoluta Pos-Tol. +/- 0.020 m Ht-Tol. +/- 0.020 m		Peralte Tol. +/- 0.002 m			Ancho Tol. -0.002 m a +0.004 m			Flecha Corta Horizontal Tol. +/- 0.002 m			Flecha Corta Vertical Tol. +/- 0.002 m			Alabeo [%] Tol. +/- 1.500 % sobre 3.000 m	Código	Comentario
	Pos [m]	Altura [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]			
94 420.1447	-0.031	-0.003	0.000	-0.000	-0.000	1.668	1.675	0.007	0.0	-0.0	-0.001	0.0	0.0	0.002	-0.011		
94 430.1487	-0.039	-0.002	0.000	-0.006	-0.006	1.668	1.672	0.004	0.0	0.0	0.002	0.0	0.0	0.002	-0.054		
94 440.1421	-0.040	-0.009	0.000	-0.004	-0.004	1.668	1.675	0.008	0.0	0.0	0.001	0.0	-0.0	-0.001	0.018		
94 450.1749	-0.037	-0.013	0.000	0.000	0.000	1.668	1.674	0.006	0.0	-0.0	-0.001	0.0	0.0	0.000	0.042		
94 460.1782	-0.038	-0.019	0.000	0.000	0.000	1.668	1.677	0.009	0.0	-0.0	-0.001	0.0	0.0	0.002	0.000		
94 469.9960	-0.042	-0.033	0.000	0.001	0.001	1.668	1.677	0.009	0.0	0.0	0.000	0.0	-0.0	-0.006	0.005		
94 470.1778	-0.039	-0.021	0.000	0.001	0.001	1.668	1.677	0.009	0.0	-0.0	-0.003	0.0	0.0	0.005	-0.004		
94 480.0650	-0.048	-0.034	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.677	0.009	0.0	0.0	0.003	0.0	-0.0	-0.004	-0.031		
94 480.1857	-0.046	-0.023	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.678	0.010	0.0	0.0	0.000	-0.0	0.0	0.008	-0.028		
94 490.1060	-0.050	-0.043	0.000	-0.008	-0.008	1.668	1.679	0.011	0.0	0.0	0.000	0.0	-0.0	-0.006	-0.055		
94 499.8852	-0.051	-0.039	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.677	0.009	0.0	-0.0	-0.000	0.0	0.0	0.002	0.064		
94 510.0213	-0.055	-0.044	0.000	-0.004	-0.004	1.668	1.677	0.009	-0.0	-0.0	-0.000	0.0	-0.0	-0.004	-0.027		
94 520.1192	-0.058	-0.032	0.000	-0.004	-0.004	1.668	1.677	0.009	-0.0	0.0	0.002	0.0	0.0	0.002	0.005		
94 530.0867	-0.054	-0.027	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.679	0.011	-0.0	-0.0	-0.000	0.0	0.0	0.000	0.021		
94 540.1843	-0.051	-0.021	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.678	0.010	0.0	-0.0	-0.001	0.0	0.0	0.003	0.006		
94 550.1423	-0.051	-0.026	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.679	0.012	0.0	0.0	0.001	-0.0	-0.0	-0.001	-0.010		
94 560.1626	-0.046	-0.026	0.000	-0.007	-0.007	1.668	1.683	0.015	0.0	-0.0	-0.001	0.0	-0.0	-0.002	-0.046		
94 570.0250	-0.044	-0.018	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.679	0.011	0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	0.003	0.046		
94 580.1122	-0.039	-0.020	0.000	-0.005	-0.005	1.668	1.678	0.010	0.0	0.0	0.000	0.0	-0.0	-0.002	-0.031		
94 590.0432	-0.034	-0.013	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.677	0.009	0.0	-0.0	-0.002	-0.0	0.0	0.001	0.032		
94 600.0298	-0.035	-0.010	0.000	-0.007	-0.007	1.668	1.678	0.010	-0.0	0.0	0.001	0.0	-0.0	-0.002	-0.048		
94 609.7927	-0.031	-0.000	0.000	-0.004	-0.004	1.668	1.679	0.011	0.0	-0.0	-0.002	-0.0	0.0	0.003	0.032		
94 619.8093	-0.035	-0.002	0.000	-0.004	-0.004	1.668	1.676	0.008	0.0	0.0	0.002	0.0	-0.0	-0.001	-0.003		
94 629.8616	-0.031	-0.001	0.000	-0.005	-0.005	1.668	1.677	0.010	0.0	0.0	0.000	0.0	-0.0	-0.000	-0.013		

Posición: signo positivo --> la vía debe ser corregida hacia la izquierda, Altura: signo negativo --> se debe elevar la vía, Peralte: signo positivo --> la vía debe rotarse a la izquierda


## Reporte Bateadora

<b>Usuario</b> IP - Infraestructuras de Portugal  Portugal  	<b>Nombre Línea:</b> Linha do Norte - Mato de Miranda Comentario:  <b>Nombre vía:</b> Comentario: PK inicial: 93 741.0310m PK Final: 95 400.9144m	<b>Nombre datos diseño:</b> Linha I - Via Ascendente Fecha validación: 28-08-2023 Comentario: 1  <b>Nombre de la aplicación:</b> Ripagem_VA_MM Aplicación comentario: Run name: 2023_08_31 Via Ascendente  <b>Nombre Configuration</b> SeMato Miranda
--	---	---

PK (calc) [m]	Posición absoluta Pos-Tol. +/- 0.020 m Ht-Tol. +/- 0.020 m		Peralte Tol. +/- 0.002 m			Ancho Tol. -0.002 m a +0.004 m			Flecha Corta Horizontal Tol. +/- 0.002 m			Flecha Corta Vertical Tol. +/- 0.002 m			Alabeo [%] Tol. +/- 1.500 % sobre 3.000 m	Código	Comentario
	Pos [m]	Altura [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]			
94 639.8976	-0.028	0.000	0.000	-0.007	-0.007	1.668	1.679	0.011	0.0	-0.0	-0.000	0.0	-0.0	-0.001	-0.019		
94 649.9835	-0.027	0.006	0.000	-0.005	-0.005	1.668	1.677	0.010	0.0	0.0	0.002	0.0	0.0	0.003	0.026		
94 660.0440	-0.020	-0.003	0.000	-0.005	-0.005	1.668	1.680	0.012	0.0	-0.0	-0.002	0.0	0.0	0.000	0.002		
94 669.9923	-0.023	-0.013	0.000	-0.003	-0.003	1.668	1.678	0.010	0.0	0.0	0.002	0.0	-0.0	-0.002	0.012		
94 680.0206	-0.018	-0.017	0.000	-0.006	-0.006	1.668	1.681	0.013	0.0	-0.0	-0.002	0.0	-0.0	-0.001	-0.022		
94 690.0476	-0.020	-0.017	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.676	0.008	0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	0.001	0.032		
94 700.0372	-0.017	-0.019	0.000	-0.003	-0.003	1.668	1.677	0.009	-0.0	0.0	0.000	0.0	-0.0	-0.001	-0.004		
94 710.0655	-0.014	-0.018	0.000	-0.003	-0.003	1.668	1.680	0.012	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0	0.000	-0.004		
94 720.0328	-0.010	-0.018	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.679	0.011	0.0	0.0	0.001	0.0	-0.0	-0.001	0.014		
94 729.9406	-0.002	-0.013	0.000	0.000	0.000	1.668	1.682	0.014	0.0	-0.0	-0.002	0.0	0.0	0.001	0.019		
94 739.9803	-0.002	-0.010	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.678	0.010	0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	0.001	-0.025		
94 750.0064	-0.000	-0.009	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.677	0.009	0.0	0.0	0.003	0.0	0.0	0.000	0.008		
94 760.0124	0.012	-0.011	0.000	0.000	0.000	1.668	1.678	0.010	0.0	-0.0	-0.003	0.0	-0.0	-0.001	0.020		
94 769.9930	0.012	-0.010	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.677	0.009	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0	0.001	-0.020		
94 779.9987	0.013	-0.011	0.000	-0.004	-0.004	1.668	1.678	0.010	0.0	0.0	0.000	0.0	-0.0	-0.001	-0.029		
94 783.6765	0.013	-0.008	0.000	-0.004	-0.004	1.668	1.678	0.010	-0.0	0.0	0.001	-0.0	0.0	0.004	0.022		
94 790.0117	0.016	-0.013	0.000	-0.006	-0.006	1.668	1.677	0.009	0.0	-0.0	-0.000	0.0	-0.0	-0.006	-0.031		
94 794.1956	0.019	-0.007	0.000	-0.003	-0.003	1.668	1.680	0.012	0.0	-0.0	-0.001	0.0	-0.0	-0.001	0.055		
94 800.0314	0.020	0.001	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.680	0.012	0.0	-0.0	-0.002	0.0	0.0	0.001	0.042		
94 810.1418	0.014	0.012	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.678	0.010	0.0	-0.0	-0.000	0.0	0.0	0.002	-0.008		
94 820.1927	0.007	0.012	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.678	0.010	0.0	0.0	0.002	-0.0	-0.0	-0.003	0.007		
94 830.1448	0.007	0.023	0.000	0.004	0.004	1.668	1.678	0.010	0.0	-0.0	-0.002	0.0	0.0	0.004	0.054		
94 840.1550	0.000	0.020	0.000	0.008	0.008	1.668	1.677	0.009	0.0	-0.0	-0.002	0.0	-0.0	-0.001	0.031		
94 850.1528	-0.014	0.018	0.000	0.001	0.001	1.668	1.674	0.006	0.0	0.0	0.004	0.0	0.0	0.002	-0.070		

Posición: signo positivo --> la vía debe ser corregida hacia la izquierda, Altura: signo negativo --> se debe elevar la vía, Peralte: signo positivo --> la vía debe rotarse a la izquierda


## Reporte Bateadora

<b>Usuario</b> IP - Infraestructuras de Portugal  Portugal  	<b>Nombre Línea:</b> Linha do Norte - Mato de Miranda Comentario:  <b>Nombre vía:</b> Comentario: PK inicial: 93 741.0310m PK Final: 95 400.9144m	<b>Nombre datos diseño:</b> Linha I - Via Ascendente Fecha validación: 28-08-2023 Comentario: 1  <b>Nombre de la aplicación:</b> Ripagem_VA_MM Aplicación comentario: Run name: 2023_08_31 Via Ascendente  <b>Nombre Configuration SeMato Miranda</b>
--	---	---

PK (calc) [m]	Posición absoluta Pos-Tol. +/- 0.020 m Ht-Tol. +/- 0.020 m		Peralte Tol. +/- 0.002 m			Ancho Tol. -0.002 m a +0.004 m			Flecha Corta Horizontal Tol. +/- 0.002 m			Flecha Corta Vertical Tol. +/- 0.002 m			Alabeo [%] Tol. +/- 1.500 % sobre 3.000 m	Código	Comentario
	Pos [m]	Altura [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]			
94 860.0438	-0.011	0.010	0.000	0.002	0.002	1.668	1.676	0.008	0.0	-0.0	-0.002	0.0	-0.0	-0.001	0.015		
94 870.1261	-0.014	0.004	0.000	0.000	0.000	1.668	1.675	0.008	0.0	0.0	0.001	-0.0	0.0	0.000	-0.019		
94 880.0938	-0.014	-0.002	0.000	-0.003	-0.003	1.668	1.678	0.010	0.0	0.0	0.001	0.0	-0.0	-0.001	-0.027		
94 890.0824	-0.009	-0.004	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.677	0.009	0.0	-0.0	-0.002	0.0	0.0	0.001	0.013		
94 900.0964	-0.012	-0.011	0.000	0.001	0.001	1.668	1.676	0.008	0.0	-0.0	-0.001	-0.0	0.0	0.002	0.022		
94 910.1926	-0.020	-0.026	0.000	0.001	0.001	1.668	1.678	0.010	-0.0	0.0	0.001	0.0	-0.0	-0.002	-0.004		
94 920.0942	-0.023	-0.031	0.000	-0.000	-0.000	1.668	1.680	0.012	-0.0	0.0	0.000	-0.0	-0.0	-0.001	-0.006		
94 930.1883	-0.026	-0.030	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.679	0.011	0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	0.000	-0.007		
94 940.3151	-0.026	-0.030	0.000	0.001	0.001	1.668	1.680	0.012	0.0	-0.0	-0.001	0.0	-0.0	-0.001	0.017		
94 950.0895	-0.032	-0.026	0.000	0.001	0.001	1.668	1.677	0.010	0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	0.001	-0.002		
94 960.1374	-0.035	-0.024	0.000	0.001	0.001	1.668	1.677	0.009	0.0	0.0	0.001	0.0	-0.0	-0.001	0.003		
94 970.0991	-0.034	-0.014	0.000	0.002	0.002	1.668	1.679	0.011	0.0	-0.0	-0.001	0.0	0.0	0.001	0.005		
94 980.1018	-0.038	-0.007	0.000	0.002	0.002	1.668	1.680	0.012	0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	0.001	0.007		
94 990.3706	-0.036	-0.005	0.000	0.010	0.010	1.668	1.678	0.010	-0.0	-0.0	-0.001	0.0	0.0	0.004	0.072		
95 000.4141	-0.037	-0.018	0.000	0.004	0.004	1.668	1.679	0.011	-0.0	-0.0	-0.002	0.0	-0.0	-0.005	-0.052		
95 010.2231	-0.044	-0.010	0.000	0.001	0.001	1.668	1.676	0.008	-0.0	0.0	0.002	0.0	0.0	0.002	-0.039		
95 020.4858	-0.043	-0.011	0.000	0.002	0.002	1.668	1.677	0.009	-0.0	-0.0	0.000	0.0	0.0	0.000	0.015		
95 030.0621	-0.041	-0.012	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.680	0.012	0.0	0.0	0.000	0.0	-0.0	-0.001	-0.036		
95 040.0265	-0.039	-0.009	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.682	0.014	0.0	0.0	0.002	-0.0	0.0	0.002	0.001		
95 040.3350	-0.039	-0.008	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.681	0.013	0.0	0.0	0.002	0.0	0.0	0.003	-0.008		
95 050.0164	-0.029	-0.015	0.000	0.002	0.002	1.668	1.679	0.011	-0.0	-0.0	-0.004	0.0	-0.0	-0.003	0.034		
95 050.3956	-0.030	-0.014	0.000	0.002	0.002	1.668	1.679	0.011	0.0	-0.0	-0.002	0.0	-0.0	-0.001	0.035		
95 060.1426	-0.032	-0.013	0.000	0.002	0.002	1.668	1.676	0.008	-0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	0.001	-0.000		
95 070.1125	-0.028	-0.017	0.000	0.002	0.002	1.668	1.675	0.007	0.0	-0.0	-0.000	0.0	-0.0	-0.003	-0.003		

Posición: signo positivo --> la vía debe ser corregida hacia la izquierda, Altura: signo negativo --> se debe elevar la vía, Peralte: signo positivo --> la vía debe rotarse a la izquierda


## Reporte Bateadora

<b>Usuario</b> IP - Infraestructuras de Portugal  Portugal  	<b>Nombre Línea:</b> Linha do Norte - Mato de Miranda Comentario:  <b>Nombre vía:</b> Comentario: PK inicial: 93 741.0310m PK Final: 95 400.9144m	<b>Nombre datos diseño:</b> Linha I - Via Ascendente Fecha validación: 28-08-2023 Comentario: 1  <b>Nombre de la aplicación:</b> Ripagem_VA_MM Aplicación comentario: Run name: 2023_08_31 Via Ascendente  <b>Nombre Configuration</b> SeMato Miranda
--	---	---

PK (calc) [m]	Posición absoluta Pos-Tol. +/- 0.020 m Ht-Tol. +/- 0.020 m		Peralte Tol. +/- 0.002 m			Ancho Tol. -0.002 m a +0.004 m			Flecha Corta Horizontal Tol. +/- 0.002 m			Flecha Corta Vertical Tol. +/- 0.002 m			Alabeo [%] Tol. +/- 1.500 % sobre 3.000 m	Código	Comentario
	Pos [m]	Altura [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]			
95 080.2543	-0.024	-0.011	0.000	0.002	0.002	1.668	1.679	0.012	0.0	-0.0	-0.001	0.0	0.0	0.001	0.003		
95 090.1435	-0.024	-0.009	0.000	0.001	0.001	1.668	1.678	0.010	0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	0.001	-0.006		
95 100.1093	-0.020	-0.012	0.000	0.002	0.002	1.668	1.679	0.011	0.0	-0.0	-0.000	0.0	0.0	0.001	0.003		
95 110.0277	-0.016	-0.016	0.000	0.002	0.002	1.668	1.680	0.012	0.0	-0.0	-0.001	0.0	-0.0	-0.001	0.007		
95 120.0530	-0.018	-0.016	0.000	-0.000	-0.000	1.668	1.678	0.010	0.0	0.0	0.002	0.0	-0.0	-0.001	-0.025		
95 130.2824	-0.011	-0.014	0.000	0.002	0.002	1.668	1.680	0.012	-0.0	-0.0	-0.002	0.0	0.0	0.001	0.018		
95 140.0880	-0.012	-0.014	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.680	0.012	0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	0.000	-0.036		
95 150.5465	-0.010	-0.016	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.678	0.010	0.0	-0.0	-0.001	0.0	0.0	0.001	0.004		
95 160.2092	-0.011	-0.020	0.000	-0.005	-0.005	1.668	1.679	0.011	0.0	0.0	0.001	0.0	-0.0	-0.002	-0.035		
95 170.0156	-0.008	-0.018	0.000	-0.005	-0.005	1.668	1.677	0.010	0.0	0.0	0.000	0.0	-0.0	-0.000	-0.007		
95 180.1061	-0.004	-0.014	0.000	-0.005	-0.005	1.668	1.681	0.013	0.0	-0.0	-0.001	0.0	0.0	0.000	0.006		
95 190.0690	-0.003	-0.012	0.000	-0.004	-0.004	1.668	1.678	0.010	0.0	-0.0	-0.000	0.0	0.0	0.001	0.011		
95 200.1339	-0.001	-0.012	0.000	-0.003	-0.003	1.668	1.680	0.012	0.0	0.0	0.002	0.0	-0.0	-0.001	0.004		
95 210.0750	0.007	-0.008	0.000	-0.003	-0.003	1.668	1.677	0.009	0.0	0.0	0.002	0.0	0.0	0.001	0.001		
95 220.1384	0.025	-0.006	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.677	0.009	0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	0.002	0.019		
95 230.0601	0.045	-0.011	0.000	0.001	0.001	1.668	1.678	0.010	0.0	-0.0	-0.004	0.0	-0.0	-0.000	0.026		
95 230.2776	0.041	-0.012	0.000	0.001	0.001	1.668	1.678	0.010	0.0	-0.0	-0.000	0.0	-0.0	-0.001	0.020		
95 238.8840	0.050	-0.012	0.000	0.002	0.002	1.668	1.677	0.009	0.0	0.0	0.002	0.0	-0.0	-0.001	0.005		
95 239.9219	0.056	-0.012	0.000	0.002	0.002	1.668	1.678	0.010	0.0	-0.0	-0.002	0.0	0.0	0.000	0.011		
95 250.0020	0.066	-0.011	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.677	0.009	0.0	0.0	0.000	0.0	-0.0	-0.001	-0.031		
95 259.7542	0.077	-0.007	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.679	0.011	0.0	0.0	-0.000	0.0	0.0	0.001	-0.002		
95 269.8040	0.084	-0.008	0.000	-0.000	-0.000	1.668	1.679	0.011	0.0	-0.0	-0.003	0.0	0.0	0.001	0.013		
95 280.0474	0.077	-0.014	0.000	0.001	0.001	1.668	1.677	0.009	0.0	0.0	-0.000	0.0	0.0	0.001	0.009		
95 290.1206	0.066	-0.021	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.679	0.011	0.0	0.0	0.001	0.0	-0.0	-0.004	-0.021		

Posición: signo positivo --> la vía debe ser corregida hacia la izquierda, Altura: signo negativo --> se debe elevar la vía, Peralte: signo positivo --> la vía debe rotarse a la izquierda

## Reporte Bateadora

<b>Usuario</b> IP - Infraestructuras de Portugal  Portugal  	<b>Nombre Línea:</b> Linha do Norte - Mato de Miranda Comentario:  <b>Nombre vía:</b> Comentario: PK inicial: 93 741.0310m PK Final: 95 400.9144m	<b>Nombre datos diseño:</b> Linha I - Via Ascendente Fecha validación: 28-08-2023 Comentario: 1  <b>Nombre de la aplicación:</b> Ripagem_VA_MM Aplicación comentario: Run name: 2023_08_31 Via Ascendente  <b>Nombre Configuration SeMato Miranda</b>
--	---	---

PK (calc) [m]	Posición absoluta Pos-Tol. +/- 0.020 m Ht-Tol. +/- 0.020 m		Peralte Tol. +/- 0.002 m			Ancho Tol. -0.002 m a +0.004 m			Flecha Corta Horizontal Tol. +/- 0.002 m			Flecha Corta Vertical Tol. +/- 0.002 m			Alabeo [%] Tol. +/- 1.500 % sobre 3.000 m	Código	Comentario
	Pos [m]	Altura [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]	Desv [m]	Med [m]	Desv [m]			
95 300.0711	0.056	-0.013	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.679	0.011	0.0	-0.0	-0.000	0.0	0.0	0.002	0.007		
95 310.0658	0.045	-0.012	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.679	0.011	0.0	-0.0	-0.000	0.0	0.0	0.001	-0.002		
95 320.0752	0.033	-0.015	0.000	-0.000	-0.000	1.668	1.677	0.009	-0.0	0.0	0.001	0.0	-0.0	-0.001	0.003		
95 330.1032	0.026	-0.014	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.679	0.011	-0.0	-0.0	-0.001	0.0	0.0	0.001	-0.001		
95 340.1760	0.014	-0.016	0.000	0.001	0.001	1.668	1.678	0.010	0.0	0.0	0.000	0.0	-0.0	-0.001	0.010		
95 350.0478	0.002	-0.014	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.675	0.008	-0.0	0.0	0.000	0.0	0.0	0.000	-0.021		
95 359.8938	-0.007	-0.013	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.677	0.009	-0.0	-0.0	0.000	0.0	0.0	0.001	-0.003		
95 370.1232	-0.015	-0.015	0.000	-0.002	-0.002	1.668	1.677	0.009	-0.0	0.0	0.001	0.0	-0.0	-0.001	-0.006		
95 380.1964	-0.018	-0.012	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.677	0.009	-0.0	-0.0	-0.001	0.0	0.0	0.000	0.018		
95 390.0949	-0.023	-0.011	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.675	0.007	0.0	-0.0	-0.000	0.0	0.0	0.000	-0.006		
95 400.9144	-0.029	-0.010	0.000	-0.001	-0.001	1.668	1.677	0.009	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-0.003		

Posición: signo positivo --> la vía debe ser corregida hacia la izquierda, Altura: signo negativo --> se debe elevar la vía, Peralte: signo positivo --> la vía debe rotarse a la izquierda