

Estudo e Projeto de uma variante urbana no Concelho de Cinfães

Bruno Rafael Silva Pinto – 1081752

Outubro de 2015

Projeto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

Ramo de Infraestruturas

Estudo e Projeto de uma variante urbana no Concelho de Cinfães

Bruno Rafael Silva Pinto – 1081752

Outubro de 2015

Projeto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

Ramo de Infraestruturas

Orientador: Eng.º Ângelo Manuel Gonçalves Jacob (AMJ)

Índice Geral

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
Índice de Texto	XI
Índice de Figuras	XV
Índice de Tabelas	XIX
Abreviaturas	XXI
1. Introdução	1
2. Reconhecimento de Campo	7
3. Referências Teóricas	19
4. Características Técnicas de Infraestruturas Rodoviárias	31
5. Plataforma Rodoviária.....	53
6. Estudo do Caso	87
7. Conclusão.....	137
8. Bibliografia	141
Anexos	143

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não seria possível sem a ajuda de todos que, direta ou indiretamente, me motivaram e apoiaram ao longo do seu desenvolvimento.

Ao Engenheiro Ângelo Jacob, o meu muito obrigado pela orientação, transmissão de conhecimentos, conselhos, assim como a sua constante disponibilidade.

Ao Engenheiro Luís Sequeira, engenheiro na Câmara Municipal de Cinfães, pela disponibilidade prestada.

A todos os meus amigos que me acompanharam durante esta fase da minha vida, mas um especial agradecimento ao Bruno Oliveira pelo companheirismo de anos.

Aos meus pais e irmã, agradeço especialmente a motivação ao longo de todo o meu percurso académico.

Por último, mas de uma forma muito reconhecida, agradeço à minha esposa Olívia Costa e filha Lara Pinto, pelo carinho, compreensão e motivação em todos os momentos.

RESUMO

A criação de infraestruturas passa pela construção de estradas que ligam pontos estratégicos, permitindo acesso a bens e serviços, de forma cómoda e segura.

No desenvolvimento deste trabalho é abordado o estudo e projeto de uma variante urbana no concelho de Cinfães, nas especificidades de traçado, pavimentos e sinalização. Inicia-se por uma apresentação sobre o trabalho, os objetivos, estrutura e metodologia utilizada na sua elaboração. São apresentados os softwares utilizados, como editores de imagem (Google Earth, Microsoft ICE e Caesium) que permitem obter e trabalhar imagens panorâmicas, o Civil 3D que possibilita a realização ágil de um projeto de vias, e o Alize-LCPC que determina as características de dimensionamento de um pavimento flexível.

São apresentados os estudos necessários para a construção da variante em questão passando pela localização da via, o trabalho sobre o levantamento topográfico fornecido pela Câmara Municipal, condicionantes de traçado e serviços afetados. Posteriormente, são abordados alguns conceitos teóricos como geometria do traçado, velocidade, tráfego e visibilidade. Descrevem-se as características geométricas de infraestruturas rodoviárias a conhecer anteriormente à realização de um projeto de execução de uma via, como o traçado em planta (alinhamentos retos, curvas, raios, sobreelevação, sobrelargura), perfil longitudinal (trainéis, inclinações, concordâncias verticais) e perfil transversal (faixa de rodagem, bermas, valetas e taludes). É realizada ainda uma apresentação sobre os elementos integrantes de uma plataforma rodoviária e passeio, os seus critérios de dimensionamento, como caracterização do tráfego, temperaturas de serviço e deformações, assim como os elementos teóricos para o estudo de drenagem (período de retorno, precipitação e tipos de dispositivos). São ainda apresentadas as características gerais de um projeto de sinalização e segurança, enunciando as marcas rodoviárias e a sinalização vertical. Termina-se apresentando as soluções encontradas e os meios utilizados, para a elaboração do projeto de uma via nova, alargamento de via existente e requalificação de pavimento de um troço de ligação à EN222, expondo ainda as conclusões obtidas na realização do projeto com propostas para desenvolvimento futuros.

Palavras-chave: Estudo de traçado, Perfil, Plataforma, Pavimento, Sinalização e Segurança.

ABSTRACT

The creation of infrastructures implicates the construction of roads that connect strategic points, allowing access to goods and services, in a convenient and secure way.

This work focuses on the study and design of an urban route in Cinfães, its specific path, flooring and signage. It begins by presenting the work, its goals, structure and methodology. .Describes the used software, such as image editors (Google Earth, Microsoft ICE and Caesium) used to obtain and work panoramic images, the Civil 3D that enables agile realization of a road design, and the Alize-LCPC that determines the dimensioning characteristics of a flexible pavement.

All the studies required for the construction of the route in question are addressed, the location, the work on topographic surveys provided by the City Hall, the tracing conditions and affected services. Subsequently some theoretical concepts are discussed such as the geometry of the layout, speed, traffic and visibility. The geometric characteristics of road infrastructures to be determined prior to the completion of a one-way execution project, are described, namely the horizontal alignment (straight alignments, curves, rays, uplift over width), the vertical alignment (gradients, slopes, vertical agreements) and cross section (roadway, curbs, ditches and embankments). It is also presented the inherent elements of a road platform and sidewalk, its dimensioning criteria, such as traffic characterization, operating temperatures and strains, as well as the theoretical elements for the drainage study (return period, precipitation and types of devices). There is also a presentation of the general characteristics of a sign and security project, outlining the road markings and road signs Finally, the solutions and the means used for the preparation of a new road project, the existing road widening and pavement rehabilitation of a connecting section to EN222, are covered, as well as the conclusions reached in the realization of the project with proposals for future development.

Keywords: Road Study, Profile, Platform, Floor, Signaling and Security.

Índice de Texto

1.Introdução.....	1
1.1. Enquadramento Geral	1
1.2. Motivação	2
1.3. Objetivos do Trabalho.....	3
1.4. Metodologia	4
1.5. Estrutura do Projeto.....	4
2.Reconhecimento de Campo.....	7
2.1. Considerações Gerais	7
2.2. Localização	7
2.3. Estudos Topográficos	9
2.4. Análise e Verificação no Local.....	13
2.4.1. Verificação de condicionantes de traçado.....	13
2.4.2. Alargamento de via.....	14
2.4.3. Reabilitação de pavimento.....	15
2.5. Serviços Afetados.....	16
2.6. Estudos de Condicionantes e Ordenamento.....	17
3.Conceitos Teóricos	19
3.1. Breves Noções	19
3.2. Geometria do Traçado.....	19
3.3. Velocidade.....	20
3.3.1. Velocidade base	20
3.3.2. Velocidade específica.....	21
3.3.3. Velocidade de tráfego.....	22
3.4. Estatísticas de Tráfego	23
3.4.1. Tráfego médio diário anual	24
3.4.2. Volume horário de projeto.....	24
3.5. Nível de Serviço	25
3.6. Visibilidade	26
3.6.1. Distância de visibilidade de paragem.....	27
3.6.2. Distância de visibilidade de decisão	28
3.6.3. Distância de visibilidade de ultrapassagem	29
3.7. Integração Paisagística	30
4.Caraterísticas Geométricas de Infraestruturas Rodoviárias	31
4.1. Traçado em Planta	31
4.1.1. Alinhamentos retos.....	31

4.1.2.	Curvas circulares	32
4.1.3.	Raios mínimos	33
4.1.3.1.	Raios mínimos absolutos	35
4.1.3.2.	Raios mínimos normais	36
4.1.4.	Sobreelevação	38
4.1.5.	Sobrelargura	40
4.1.6.	Curvas de transição	41
4.1.6.1.	Tipos de curvas de transição	42
4.1.6.2.	Clotóide	42
4.1.6.3.	Homogeneidade de traçado em planta	44
4.2.	Perfil Longitudinal	45
4.2.1.	Trainéis	45
4.2.1.1.	Inclinação máxima	46
4.2.1.2.	Inclinação mínima	46
4.2.1.3.	Extensão crítica	47
4.2.2.	Concordâncias verticais	47
4.2.2.1.	Concordância convexa	48
4.2.2.2.	Concordâncias côncavas	49
4.3.	Perfil Transversal	49
4.3.1.	Faixa de rodagem	49
4.3.2.	Bermas	50
4.3.3.	Valetas	51
4.3.4.	Taludes	52
5.	Plataforma Rodoviária	53
5.1.	Considerações Gerais	53
5.2.	Rodovia	55
5.2.1.	Constituição e comportamento dos pavimentos flexíveis	55
5.2.1.1.	Caraterização do tráfego	57
5.2.1.2.	Temperaturas de serviço	59
5.2.1.3.	Módulos de deformabilidade	61
5.2.1.4.	Critérios de ruína de pavimentos flexíveis	63
5.2.2.	Patologias dos pavimentos	63
5.2.3.	Passeios	65
5.3.	Drenagem	66
5.3.1.	Considerações gerais	66
5.3.1.1.	Período de retorno	66
5.3.1.2.	Velocidades máximas de escoamento superficial	68
5.3.1.3.	Distância mínima entre o nível de água e a plataforma	68
5.3.2.	Elementos base	69

5.3.2.1.	Precipitação.....	69
5.3.2.2.	Tempo de concentração	69
5.3.2.3.	Coeficiente de escoamento	70
5.3.3.	Dispositivos de drenagem tipo	71
5.3.4.	Drenagem longitudinal.....	72
5.3.4.1.	Considerações gerais	72
5.3.4.2.	Dimensionamento de valetas e coletores	72
5.3.4.3.	Dimensionamento de sumidouros.....	74
5.3.5.	Drenagem transversal	74
5.3.5.1.	Considerações gerais	74
5.3.5.2.	Fatores de escolha dos dispositivos	75
5.3.5.3.	Dimensionamento hidráulico.....	75
5.4.	Sinalização e Segurança	76
5.4.1.	Marcas rodoviárias	77
5.4.1.1.	Características gerais	77
5.4.1.2.	Tipos de marcas rodoviárias	77
5.4.2.	Sinalização vertical	81
5.4.2.1.	Características gerais	81
5.4.2.2.	Tipos de sinalização vertical	81
5.4.3.	Sinalização temporária	84
5.4.3.1.	Princípios de utilização	84
5.5.	Interseção de Nível.....	85
5.6.	Interseção Giratória	88
6.	Estudo do Caso	89
6.1.	Notas Introdutórias	89
6.2.	Traçado da Via Principal.....	89
6.2.1.	Traçado em planta.....	89
6.2.2.	Perfil longitudinal	96
6.2.3.	Perfil transversal.....	99
6.2.4.	Áreas e volumes de perfis transversais	102
6.3.	Definição Geométrica das Interseções	108
6.3.1.	Interseção de nível	108
6.3.2.	Interseção giratória.....	112
6.3.2.1.	Ilha central.....	112
6.3.2.2.	Entradas e saídas.....	114
6.3.2.3.	Ilhéu separador.....	115
6.4.	Dimensionamento de Pavimentos	116
6.4.1.	Volume de tráfego	117
6.4.2.	Pavimento flexível (faixa de rodagem).....	117

6.4.2.1.	Determinação do número de eixos padrão	117
6.4.2.2.	Determinação das temperaturas de serviço.....	119
6.4.2.3.	Cálculo dos módulos de deformabilidade.....	121
6.4.2.3.1.	Módulo de deformabilidade do solo de fundação	121
6.4.2.3.2.	Módulo de deformabilidade da sub-base	121
6.4.2.3.3.	Módulo de deformabilidade da mistura betuminosa	121
6.4.2.4.	Determinação das extensões admissíveis	122
6.4.2.4.1.	Extensões verticais.....	122
6.4.2.4.2.	Extensões transversais.....	123
6.4.3.	Pavimento pedonal.....	126
6.5.	Drenagem de Águas Pluviais.....	128
6.5.1.	Análise do escoamento.....	128
6.5.2.	Determinação de elementos de cálculo	131
6.5.2.1.	Intensidade de precipitação	131
6.5.2.2.	Determinação do caudal	131
6.6.	Sinalização e Segurança	133
7.	Conclusão.....	139
7.1.	Considerações Finais	139
7.2.	Desenvolvimentos Futuros	141
	Bibliografia.....	143
	Anexos.....	145
	Anexo 1 – Plantas da Câmara Municipal de Cinfães	147
	Anexo 2 – Planta de localização/Esboço corográfico	149
	Anexo 3 – Planta de traçado e perfil longitudinal	144
	Anexo 4 – Perfis transversais.....	146
	Anexo 5 – Perfis transversais tipo	148
	Anexo 6 – Planta de pavimentos e pormenores	150
	Anexo 7 – Planta de sinalização e segurança	152
	Anexo 8 – Cálculos auxiliares de pavimentos.....	154
	Anexo 9 – Terraplenagens	211
	Anexo 10 – Planta de serviços afetados.....	217

Índice de Figuras

Figura 1 – Imagem satélite de posição relativa	7
Figura 2 – Imagem aérea do local de construção	8
Figura 3 – Imagem aérea da via a reabilitar	8
Figura 4 – Imagem aérea e declives	9
Figura 5 – Curvas de nível	10
Figura 6 – Relevo	10
Figura 7 – Levantamento Topográfico lugar das Bouças (Esc. 1/1000)	11
Figura 8 – Topografia com curvas de nível espaçadas de 1m (Esc. 1/1000)	12
Figura 9 – Diferenças de levantamentos topográficos.....	12
Figura 10 – Reconhecimento (início da via a projetar)	13
Figura 11 - Reconhecimento (aos 75 m da via a projetar).....	14
Figura 12 – Reconhecimento (fim da via a projetar).....	14
Figura 13 – Via a alargar (acesso à EN222)	15
Figura 14 – Troço de via a requalificar	15
Figura 15 – Patologias de pavimento.....	16
Figura 16 – Serviços afetados	16
Figura 17 – Verificação de planta de condicionantes	17
Figura 18 – Verificação de planta de ordenamento	18
Figura 19 – Distribuição cumulativa de velocidades.....	22
Figura 20 – Esquema representativo da distância de visibilidade de paragem.....	27
Figura 21 – Fases da manobra de ultrapassagem	29
Figura 22 – Traçado em planta de curvas circulares, combinação de raios desejável	32
Figura 23 - Forças atuantes num veículo em curva	34
Figura 24 – Variação de raios mínimos em função da velocidade base	38
Figura 25 – Exemplo de sobrelevação	39
Figura 26 - Sobrelargura.....	40
Figura 27 – Tipos de curvas de transição	42
Figura 28 – Configuração comum de uma berma exterior	50
Figura 29 – Tipos de valetas comuns	51
Figura 30 – Tipos de taludes.....	52
Figura 31 – Pavimento rodoviário: constituição e ações	53
Figura 32 – Camadas de um pavimento	54
Figura 33 – Pavimento flexível: constituição e comportamento.....	56
Figura 34 – Classificação dos veículos segundo JAE (atual EP)	57
Figura 35 - Caraterização das classes de tráfego consideradas no MACOPAV.....	59
Figura 36 – Variação do módulo de deformabilidade de misturas betuminosas	60
Figura 37 - Temperatura de serviço de camadas betuminosas (SHELL, 1997).....	60
Figura 38 – Sequência e interação das degradações (Pereira e Miranda, 1999)	64
Figura 39 – Camadas constituintes de um pavimento semi-rígido	66
Figura 40 – Valeta de crista de talude e de bordadura de passeio.....	72
Figura 41 – Esquema de um sumidouro	74
Figura 42 – Dimensões da banda cromática.....	80
Figura 43 – Disposição regulamentar sinalização vertical - Secção corrente/ Ilhas ou separadores materializados	83
Figura 44 – Ilha separadora (dimensões regulamentares)	85

Figura 45 – Ilha direcional (dimensões regulamentares)	86
Figura 46 – Ilustração utilização do software Google Earth.....	90
Figura 47 – Ilustração utilização do software ICE.....	90
Figura 48 – Ilustração do software Caesium	91
Figura 49 – Inserção da imagem no C3D.....	91
Figura 50- Criar alinhamento com recurso ao C3D	92
Figura 51 – Alinhamento da via principal	93
Figura 52 – Criar Perfil Longitudinal com recurso ao C3D.....	96
Figura 53 – Criar trainéis com recurso ao C3D	97
Figura 54 – Perfil longitudinal da via principal	98
Figura 55 – Criar perfil transversal tipo com recurso ao C3D	99
Figura 56 – Elementos constituintes de um perfil transversal tipo (C3D).....	100
Figura 57 – Perfil transversal tipo da via principal	100
Figura 58 – Criar um corredor com recurso ao C3D.....	101
Figura 59 – Perfil transversal da via principal com muros de suporte.....	102
Figura 60 – Ilustração de um corredor	102
Figura 61 – Criar secções com recurso ao C3D.....	103
Figura 62 – Editar Sample Lines com recurso ao C3D.....	103
Figura 63 – Criar etiquetas de secção com recurso ao C3D	104
Figura 64 – Criar lista de materiais para movimento de terras com recurso ao C3D	104
Figura 65 – Criar tabela de volumes com recurso ao C3D	105
Figura 66 – Ilustração de quadro de movimento de terras	106
Figura 67 – Criar diagrama de volumes de terra com recurso ao C3D.....	106
Figura 68 – Ilustração da curva de volumes acumulados da via principal	107
Figura 69 – Criar secções transversais com recurso ao C3D.....	107
Figura 70 – ilustração de secções transversais da via principal	108
Figura 71 - Criação de interseção ao mesmo nível (C3D).....	109
Figura 72 – Definição da via prioritária na interseção de nível	109
Figura 73 – Estradas envolventes.....	110
Figura 74 – Largura das faixas junto à interseção de nível (C3D)	110
Figura 75 – Raio adotado na interseção de nível	111
Figura 76 – Interseção de nível.....	112
Figura 77 – Criar intersecção giratória	113
Figura 78 – Área disponível para rotunda	114
Figura 79 – Dimensões de saída e entrada na interseção giratória.....	114
Figura 80 – Dimensionamento ilhéu separador.....	115
Figura 81 – Interseção giratória	116
Figura 82 – Diagrama de volume de tráfego de pesados	117
Figura 83 – Carga de referência utilizada no software Alize-Lcpc.....	123
Figura 84 – Introdução dos dados de cálculo no Alize-Lcpc.....	124
Figura 85 – Extensões instaladas (Alize-Lcpc).....	124
Figura 86 – Pormenor pavimento flexível.....	125
Figura 87 – Modelo de obras acessórias	127
Figura 88 – Pormenor pavimento semi-rígido	127
Figura 89 – Criar setas de escoamento de água.....	128
Figura 90 – Tornar setas de escoamento visíveis	129
Figura 91 – Setas de escoamento	129
Figura 92 – Criar linhas de escoamento.....	130
Figura 93 – Linhas de escoamento	130
Figura 94 – Ilustração de uma passadeira	135

Figura 95 – Marcas rodoviárias numa interseção de nível	135
Figura 96 – Disposição de sinalização vertical.....	136
Figura 97 – Sinalização e segurança (interseção giratória).....	137
Figura 98 – Sinalização e segurança (segmento do troço)	137
Figura 99 – Sinalização e segurança (interseção de nível)	138

Índice de Tabelas

Quadro 1 - Velocidade base em função do tipo de estrada (JAE, 1994)	20
Quadro 2 - Velocidade específica em curva	21
Quadro 3 – Velocidades de tráfego nas estradas nacionais.....	23
Quadro 4 – Velocidade a considerar nos vários elementos do traçado	23
Quadro 5 – Valores usuais de k_1 e k_2	24
Quadro 6 – Níveis de Serviço	25
Quadro 7 – Distâncias de visibilidade mínimas	28
Quadro 8 – Extensões mínima e máxima dos alinhamentos retos- Valores indicativos	32
Quadro 9 – Raios mínimos em função da extensão dos alinhamentos retos	33
Quadro 10 – Coeficientes de atrito transversal	35
Quadro 11 – Raios mínimos absolutos	35
Quadro 12 – Raios mínimos normais.....	37
Quadro 13 – Raios mínimos em planta.....	37
Quadro 14 – Sobreelevação em curvas circulares.....	39
Quadro 15 – Análise comparativa dos parâmetros mínimos da clotóide	44
Quadro 16 – Parâmetros fundamentais do traçado em planta	45
Quadro 17 – Inclinação máxima dos trainéis	46
Quadro 18 – Extensão crítica dos trainéis.....	47
Quadro 19 – Raio mínimo das concordâncias convexas.....	48
Quadro 20 – Raio mínimo das concordâncias côncavas.....	49
Quadro 21 – Larguras regulamentares de bermas.....	51
Quadro 22 – Tipos de pavimentos em função dos materiais e da deformabilidade	54
Quadro 23 – Pesos máximos dos veículos pesados (Portaria 1092/97).....	58
Quadro 24 – Famílias e tipos de degradações (Pereira e Miranda, 1999).....	64
Quadro 25 – Classificação das relações de degradações e os fatores de degradação.....	65
Quadro 26 – Período de retorno mínimo em dispositivos de drenagem longitudinal	67
Quadro 27 – Período de retorno mínimo a adotar nas passagens hidráulicas	67
Quadro 28 – Valores de P1 (função da importância da via)	67
Quadro 29 – Valores de P2 (função dos prejuízos/danos para a própria via).....	68
Quadro 30 – Valores de P3 (função dos prejuízos/danos causados a 3. ^{os}).....	68
Quadro 31 – Velocidades máximas de escoamento superficial	68
Quadro 32 – Parâmetros a e b das curvas I-D-F.....	69
Quadro 33 – Valores de K_s da fórmula de Manning-Strickler	70
Quadro 34 – Coeficientes de escoamento (C)	71
Quadro 35 – Dispositivos e estruturas de drenagem tipo.....	71
Quadro 36 – Marcas rodoviárias longitudinais comuns	78
Quadro 37 – Marcas rodoviárias reguladoras de estacionamento e paragem.....	78
Quadro 38 – Marcas rodoviárias transversais comuns.....	79
Quadro 39 – Marcas rodoviárias orientadoras do sentido de trânsito.....	79
Quadro 40 – Marcas rodoviárias diversas e guias	80
Quadro 41 – Sinalização triangular	82
Quadro 42 – Sinalização octagonal	82
Quadro 43 – Sinalização circular	83
Quadro 44 – Raio das viragens à esquerda em função do ângulo da interseção.....	86
Quadro 45 – Raio mínimo das curvas de viragem à direita	87

Quadro 46 – Elementos geométricos do alinhamento	93
Quadro 47 – Parâmetros de dimensionamento da clotoide	95
Quadro 48 – Elementos geométricos do perfil longitudinal.....	97
Quadro 49 – Estudo de tráfego (dimensionamento de pavimentos flexíveis)	118
Quadro 50 – Número de eixos acumulados	119
Quadro 51 – Temperatura média mensal do ar.....	120
Quadro 52 – Temperaturas de serviço das camadas betuminosas pelo método da Shell..	121
Quadro 53 – Módulo de deformabilidade da camada de desgaste.....	121
Quadro 54 – Módulo de deformabilidade da camada de regularização	122
Quadro 55 – Módulo de deformabilidade da camada de base	122
Quadro 56 – Extensões de tração máxima admissíveis	123
Quadro 57 – Quadro resumo do pavimento flexível	125
Quadro 58 – Largura da faixa a expropriar à esquerda do eixo.....	132
Quadro 59 – Dimensões das marcas longitudinais	133
Quadro 60 – Dimensões das marcas transversais	134

Abreviaturas

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

ABGE – Aglomerado britado de granulometria extensa

BMB – Betume modificado com borracha

C – Coeficiente de escoamento

CBR – California Bearing Ratio

CCDRN – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte

C.M.C. – Câmara Municipal de Cinfães

C3D – Civil 3 D

EN222 – Estrada Nacional 222

f_t – Coeficiente de atrito transversal

i – Inclinação da plataforma

ICE – Image Composite Editor

I-D-F – Intensidade-Duração-Frequência

IP – Infraestruturas de Portugal

INFRA – Infraestruturas dos Transportes

J – Grau de incomodidade

JAЕ – Junta Autónoma de Estradas

K_s – Coeficiente de rugosidade

LCPC – Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

MACOPAV – Manual de Concepção de Pavimentos

N – Número acumulado de eixos tipo

N_{80} – Número de eixos padrão de 80 KN

PRAER – Pavimentos rodoviários e Aeroportuários

PRN – Plano Rodoviário Nacional

RA – Raios absolutos

RN – Raios normais

RST – Regulamento de Sinalização de Trânsito

Se – Sobreelevação

SI – Sobrelargura

T_{mb} – Temperatura da mistura betuminosa

$TMDA_p$ – Tráfego médio diário anual de pesados

T_{mma} – Temperatura média mensal do ar

V_B – Velocidade base

VHP – Volume horário de projeto

V_T – Velocidade de tráfego

1.Introdução

1.1. Enquadramento Geral

As vias de comunicação são um elemento fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade.

O movimento de mercadorias e pessoas permite o intercâmbio entre diferentes localidades, melhorando assim o nível de vida das populações e o acesso a bens e serviços.

Uma estrada é então um elemento com influências sociais, económicas e políticas, que permite a ligação de pontos (cidades) potencialmente ricos a regiões interiores e com menor desenvolvimento.

Um projeto de uma estrada correlaciona os elementos físicos, tipo de via e terreno, com as características de utilização, velocidades, tráfego, comodidade e segurança. Para tal são necessários estudos com o objetivo de verificar o sistema de estradas existente de forma a permitir estabelecer prioridades de ligação garantindo o escoamento do tráfego, comodidade e segurança.

Dos elementos necessários à elaboração de um projeto de vias de comunicação fazem parte os estudos que permitam o reconhecimento do terreno, os estudos topográficos, a análise e verificação do local para averiguação das condicionantes de traçado, como inclinações, construções existentes, e os estudos dos serviços afetados. Nestes é de relevante importância o conhecimento do relevo na zona de implantação da via, para que a escolha do traçado seja eficiente, assim como o conhecimento dos serviços afetados com a construção da estrada.

Englobam-se ainda nestes estudos, o projeto geométrico, ou seja, o traçado da via e todos os seus elementos constituintes como traçado em planta (alinhamentos retos, curvas, raios, sobrelevação e sobrelargura), o perfil longitudinal (trainéis, inclinações e concordâncias verticais) e perfil transversal (faixa de rodagem, bermas, valetas e taludes).

Assim como os estudos anteriores, fazem ainda parte de um projeto de vias de comunicação, o projeto de pavimentação, onde se apresentam e dimensionam as camadas constituintes do pavimento aplicado, o projeto de drenagem, descrevendo e dimensionando os dispositivos de cada sistema de drenagem (drenagem transversal e longitudinal), e o projeto de sinalização e segurança, apresentando as soluções relativas às marcas rodoviárias e sinalização vertical adotadas para cada ponto específico.

Uma infraestrutura rodoviária liga todas as características de projeto referidas com a topografia do terreno escolhido para a construção e com as condições previstas para utilização dos utentes, sendo estas diferentes para estradas urbanas ou não urbanas.

A construção de infraestruturas é comum em grandes zonas urbanas, onde a deslocação de pessoas e mercadorias permitem um fácil acesso a bens e serviços de uma forma mais rápida e eficaz, do que em zonas rurais, onde este tipo de construção é muitas vezes de fraca qualidade ou não existe.

O concelho de Cinfães, embora seja uma região que tem vindo a denotar um considerável desenvolvimento ao nível da construção de infraestruturas, carece ainda de novas construções deste tipo, que permitam acompanhar as necessidades atuais de desenvolvimento.

Este trabalho remete-se à elaboração do projeto de uma via no concelho de Cinfães, apresentando as especialidades de traçado, pavimentação e sinalização e segurança. Elabora-se ainda um alargamento de uma via já existente, assim como a requalificação do pavimento de um troço de ligação à EN222.

1.2. Motivação

Ao longo do curso de Engenharia Civil existiram unidades curriculares com uma diversidade de temas interessantes, umas mais práticas enquanto que outras mais teóricas, algumas orientadas para gestão e construção de edifícios, outras para estruturas, mas as que sempre despertaram mais interesse foram as relacionadas com Vias de Comunicação.

O fascínio e curiosidade com a complexidade que uma estrada faz transparecer quando se circula na mesma, não se tendo a menor ideia de como são executadas obras deste tipo, são enormes.

Essa curiosidade aumentou com desenrolar da unidade curricular de Vias de Comunicação, onde se começa a aprender “como fazer uma estrada”, o que levou a perceber que esse tema poderia fazer parte de um futuro profissional.

No decorrer da formação académica, ao frequentar as unidades curriculares de Infraestruturas de Transportes, Gestão de Tráfego e Pavimentos Rodoviários, tornou-se ainda mais evidente a vontade de algo relacionado com vias de comunicação.

Outro motivo que levou à realização deste projeto foi o facto de poder aprofundar os conhecimentos anteriormente adquiridos e poder aplicá-los num caso real.

Englobando a necessidade de elaboração de uma tese para conclusão do Mestrado em Engenharia Civil no ramo de Infraestruturas e a necessidade do concelho em construir a referida via, surge a oportunidade de elaborar este estudo e projeto da variante.

1.3. Objetivos do Trabalho

Este trabalho tem como principal objetivo a elaboração de um projeto de uma variante urbana no concelho de Cinfães nas especialidades de traçado, pavimentos, sinalização e segurança.

A via apresenta as seguintes características:

- Ligação entre Rua São Sebastião (junto ao Estádio Municipal) à rua Dr. Francisco Sá Carneiro (rua de acesso à Escola Secundária);
- Cerca de 485 m de extensão;
- Plataforma em pavimento flexível;
- Passeios em pavimento semi-rígido;
- Dispositivos de Drenagem;
- Sinalização e Segurança.

Para a elaboração do projeto da referida via devem ser elaborados os estudos necessários, como estudos de localização, topográficos, de condicionantes de traçado e serviços afetados. Devem também ser realizadas as especialidades de traçado, englobando o traçado em planta, perfil longitudinal e perfil transversal, a especialidade de pavimentação, onde se deve identificar o tipo de pavimento e constituição assim como características de dimensionamento, e especialidade de sinalização e segurança, apresentando todos os elementos regulamentares das marcas rodoviárias e sinalização vertical utilizados.

Outro objetivo deste trabalho é o alargamento de uma via existente, que coincidirá com o fim da via anteriormente referida, e o acesso à EN222.

A via em questão tem cerca de 4,50 m de largura, pelo que apenas permite a passagem de dois veículos ligeiros em certos pontos do seu traçado. Será proposto então um alargamento da via para cerca de 6,00 m, com passeios de ambos os lados de 1,80 m.

Esta via terá o mesmo tipo de pavimento que a via principal e será dotada de sinalização e segurança coincidente com os pressupostos regulamentares.

É ainda objetivo a reabilitação do pavimento de um pequeno troço de estrada, entre a Rua Dr. Francisco Sá Carneiro e a EN222, devido ao estado de degradação atual. Essa reabilitação

será determinada pelas condições descritas para o dimensionamento do pavimento da nova via.

1.4. Metodologia

O nível de exigência nos dias atuais, no que diz respeito a projetos de engenharia, é cada vez maior e extremamente competitivo, o que inviabiliza trabalhos com elevados custos e tempos de desenvolvimento prolongados.

Tendo como objetivo a redução do tempo investido nos projetos, assim como a diminuição do custo dos mesmos, são utilizadas ferramentas tecnológicas que agilizam o decurso do trabalho.

Para a realização deste trabalho foram utilizadas ferramentas que permitiram de uma forma expedita e prática, determinar a maioria das características necessárias numa obra deste género:

- Google Earth: originado por imagens de satélite obtidas por fotografias aéreas, permite identificar locais, cidades, países, construções e outros elementos, permitindo guardar fotos aéreas, em “planta” e em relevo;
- Microsoft Image Composite Editor (ICE): editor que permite ao utilizador criar imagens panorâmicas a partir da união de outras imagens, de posições diferentes, mas mantendo sempre um ponto em comum;
- Caesium: aplicativo para redimensionar imagens, fotografias e figuras, com excelente capacidade de reduzir os arquivos, em mais de 90 %, sem que as imagens percam a qualidade;
- Autocad Civil 3D (C3D): software potente que admite análise de bacias hidrográficas, projeto geométrico de estradas, análise geoespacial e determinação de movimentos de terras, entre outras funções;
- Alize - LCPC: aplicação que permite a realização de cálculos relacionados com a estrutura de pavimento, cargas e extensões. [1][2]

O trabalho foi desenvolvido como um projeto comum de vias de comunicação, mas com recurso aos softwares apresentados.

1.5. Estrutura do Projeto

Este trabalho está dividido em 7 capítulos, que de forma genérica, abordam o estudo e projeto de uma variante.

Neste capítulo, *Introdução*, descreve-se o enquadramento geral do trabalho, do que se trata e em que consiste, faz-se uma referência aos objetivos a alcançar no seu decorrer, descreve-se a metodologia usada, e para finalizar apresenta-se a sua estrutura.

No capítulo 2, *Reconhecimento de Campo*, faz-se uma abordagem e descrição dos estudos necessários para a realização do projeto e construção da via. São apresentados elementos de localização das vias a tratar com recurso ao Google Earth e estudos topográficos, em que o levantamento topográfico fornecido pela Câmara Municipal teve que ser trabalhado e ajustado para melhorar a modelação do terreno, obtendo-se uma maior precisão. São descritos ainda estudos de condicionantes de traçado, tendo em conta os desníveis e inclinações existentes, estudos de planeamento e ordenamento e o levantamento dos serviços afetados, serviços de eletricidade e telecomunicações.

O capítulo 3, *Conceitos Teóricos*, é dedicado à apresentação dos principais conceitos necessários para o desenvolvimento de um projeto de vias de comunicação. A geometria do traçado e as suas condicionantes, os tipos de velocidades que afetam as características técnico-geométricas do traçado, as estatísticas de tráfego que indicam o tipo de tráfego a circular na via, são alguns dos conceitos apresentados. Apresentam-se ainda definições das diferentes distâncias de visibilidade, assim como estatísticas de tráfego e níveis de serviço, terminando nos aspetos de integração paisagística.

No capítulo 4, *Caraterísticas Geométricas de Infraestruturas Rodoviárias*, são apresentados todos os parâmetros regulamentares do traçado de uma via rodoviária. Inicia-se referindo os elementos do traçado em planta como os alinhamentos retos, curvas circulares e respetivos raios regulamentares, a sobrelevação, sobrelargura e condições de dimensionamento dos parâmetros das curvas de transição. Posteriormente são indicados os componentes constituintes do perfil longitudinal, como trainéis com as respetivas inclinações e as concordâncias verticais compostas por concordâncias côncavas e convexas. São também apresentadas as partes que constituem o perfil transversal, enunciando a faixa de rodagem, bermas, valetas e taludes.

No capítulo 5, *Plataforma Rodoviária*, são apresentados todos os elementos necessários para o dimensionamento dos pavimentos rodoviário e pedonal. Inicialmente descreve-se a constituição e comportamento de um pavimento flexível, fazendo referência ao tipo de tráfego, temperaturas de serviço, módulos de deformabilidade, critérios de ruína e patologias. Neste capítulo são também apresentados os conceitos e parâmetros necessários para o dimensionamento dos órgãos de drenagem como o período de retorno, a precipitação e tempo de concentração e dispositivos de drenagem tipo. Para finalizar descrevem-se os elementos

gerais constituintes de um projeto de sinalização e segurança, marcas rodoviárias, sinalização vertical e o dimensionamento regulamentar de uma interseção de nível.

O capítulo 6, *Estudo do Caso*, é representado por uma memória descritiva com as soluções encontradas, apresentando um conjunto de esboços formados pelo traçado do alinhamento, perfis longitudinais, perfis transversais e pormenores. São enunciados os passos fundamentais, assim como os cálculos de dimensionamento aplicando os conceitos teóricos dos capítulos 3, 4 e 5.

São ainda apresentados, em anexo, soluções alternativas às encontradas de forma a permitir um maior conjunto opcional.

No capítulo 7, *Conclusão*, é dedicado à exposição das conclusões retiradas e à apresentação de propostas passíveis de desenvolvimentos futuros no sentido de melhorar as soluções encontradas.

Para finalizar são apresentadas as referências bibliográficas necessárias ao desenvolvimento deste trabalho e anexos com informações adicionais.

2.Reconhecimento de Campo

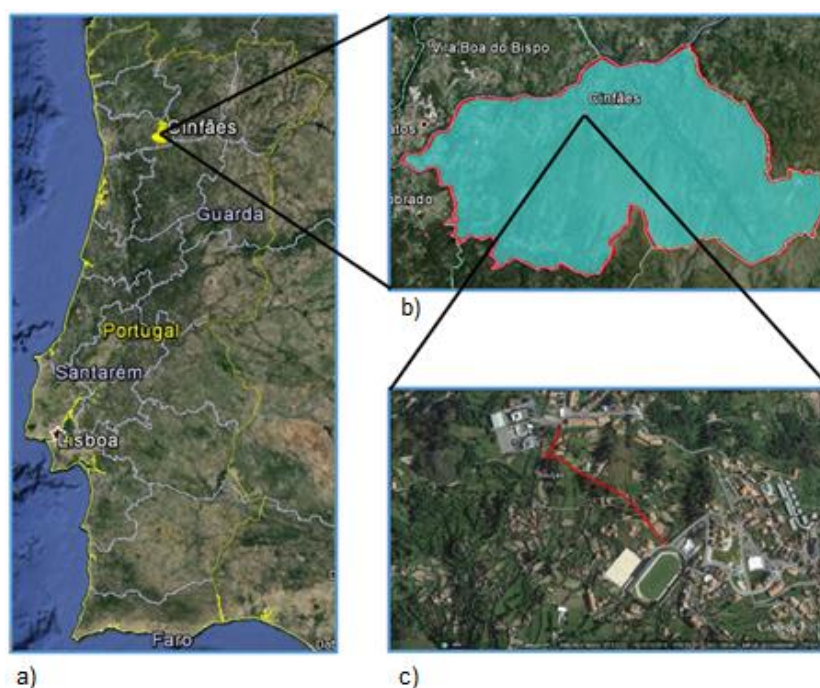
2.1. Considerações Gerais

Um projeto de vias de comunicação exige o correlacionar dos seus elementos físicos com as características de operação, conforto e condições de segurança. Engloba uma série de princípios que não inclui somente cálculos teóricos, mas também conhecimentos práticos resultantes de observações e experiências adquiridas.

Dos princípios necessários à elaboração de um projeto de vias de comunicação fazem ainda parte estudos que permitem o reconhecimento do terreno, a escolha da melhor opção de traçado, como estudos topográficos, de condicionantes de planeamento e ordenamento, serviços afetados e estudos de tráfego (origem – destino – evolução).

2.2. Localização

A via a projetar localiza-se no concelho de Cinfães no concelho de Cinfães, freguesia de Cinfães, lugar de Bouças, conforme o indicado na Figura 1.



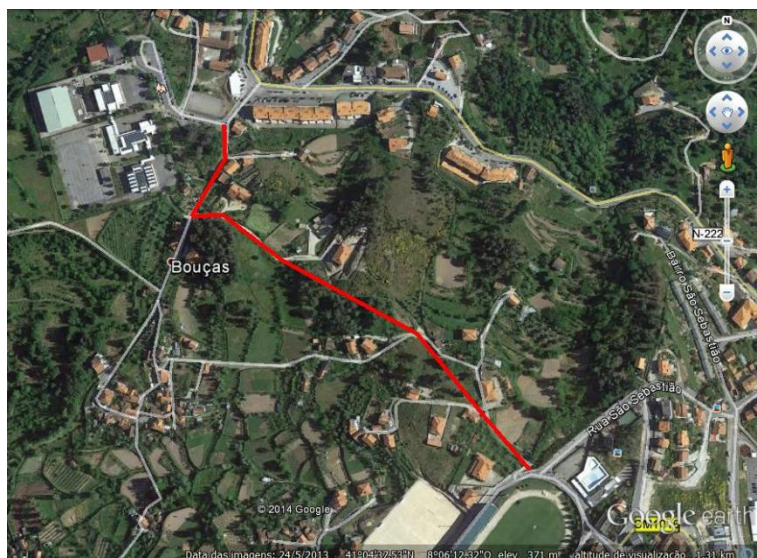
Fonte: Google Earth

- a) Portugal Continental
- b) Concelho de Cinfães
- c) Lugar de Bouças

Figura 1 – Imagem satélite de posição relativa

A variante em questão liga a Rua São Sebastião à Rua Dr. Francisco Sá Carneiro conforme o indicado na Figura 2.

A via tem cerca de 485 m de extensão sendo dotada de passeios, sistemas de drenagem de águas pluviais, assim como sinalização rodoviária e elementos de enquadramento paisagístico.



Fonte: Google Earth

Figura 2 – Imagem aérea do local de construção

No local já existem “caminhos” municipais pelo que se dá preferência a que o traçado da nova via seja o mais ajustado possível a estes, de forma a facilitar o acesso às habitações, bem como evitar acréscimo de expropriações de terrenos.

É também proposta uma reabilitação de um troço de pequena extensão, cerca de 65 m, representado a amarelo, que faz a ligação entre a nova via e a EN222, conforme a Figura 3.

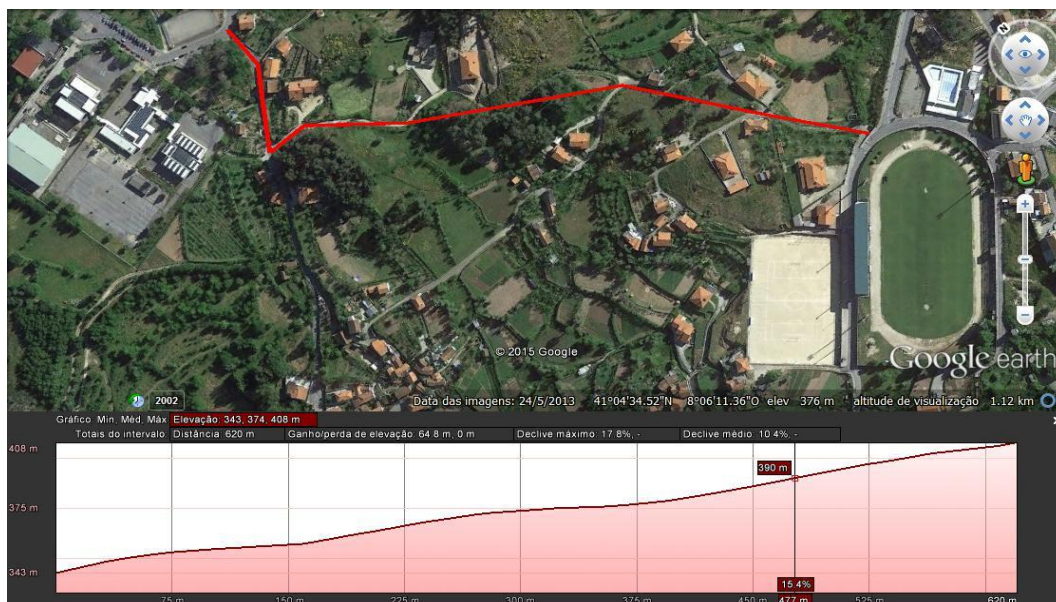


Fonte: Google Earth

Figura 3 – Imagem aérea da via a reabilitar

Esta requalificação é baseada nos estudos necessários, apresentados posteriormente, assim como nas informações cedidas pela C.M.C.

Deve-se ter em conta que a zona em questão possui um relevo relativamente montanhoso, conforme indicado na Figura 4, e se poderá constatar no trabalho, com declives acentuados (declive médio de aproximadamente 10 %).



Fonte: Google Earth

Figura 4 – Imagem aérea e declives

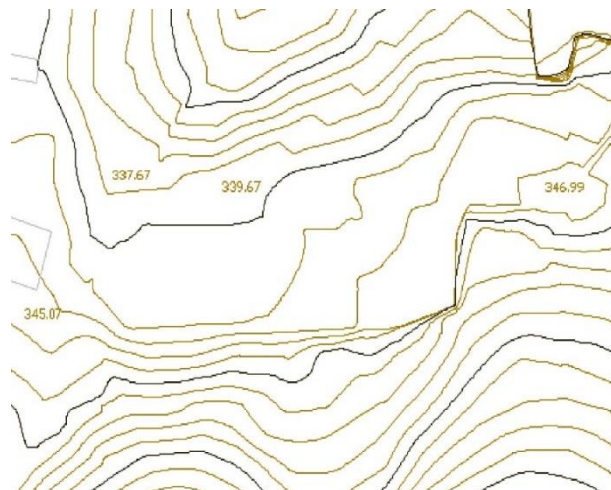
Como muitas das causas de acidentes de trânsito são a adoção de características geométricas inadequadas, o traçado deve ser escolhido de modo a que a via possa atender aos objetivos para os quais é projetada, minimizando incómodos e acidentes. Para tal, e devido às características da região, pode-se admitir que se trata de uma localidade com terreno ondulado e deve ter-se em consideração a velocidade de projeto adotada para esse meio.

É de salientar a importância da C.M.C. relativamente ao apoio disponibilizado, pois será uma mais-valia devido à prática e conhecimento da zona de estudo.

2.3. Estudos Topográficos

A elaboração dos estudos topográficos consiste na recolha de pontos notáveis e acidentes geográficos, ou outros pormenores de relevo, de uma determinada área ou zona, que possibilitam a sua representação planimétrica ou altimétrica numa carta ou planta.

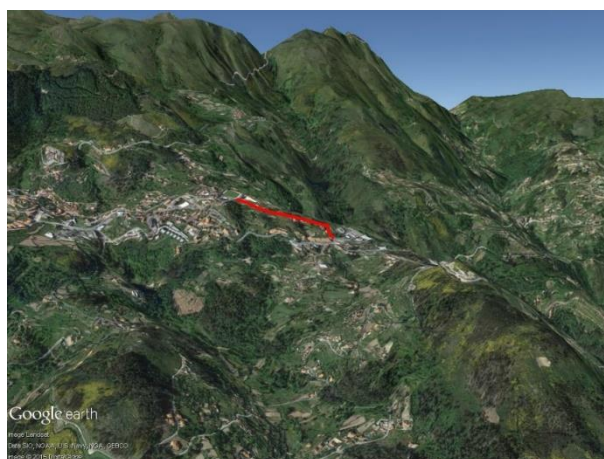
A posição altimétrica é normalmente determinada por um conjunto de curvas de nível, Figura 5, que são linhas que ligam pontos da mesma altitude na superfície do terreno, com as cotas referenciadas ao nível do mar e que permite a observação do relevo da zona em questão.



Fonte: C3D

Figura 5 – Curvas de nível

Como anteriormente descrito, a representação dos pontos altimétricos permite visualizar o relevo, Figura 6, da zona estudada em função das cotas dos vários pontos interligados, possibilitando conhecer melhor as características topográficas.

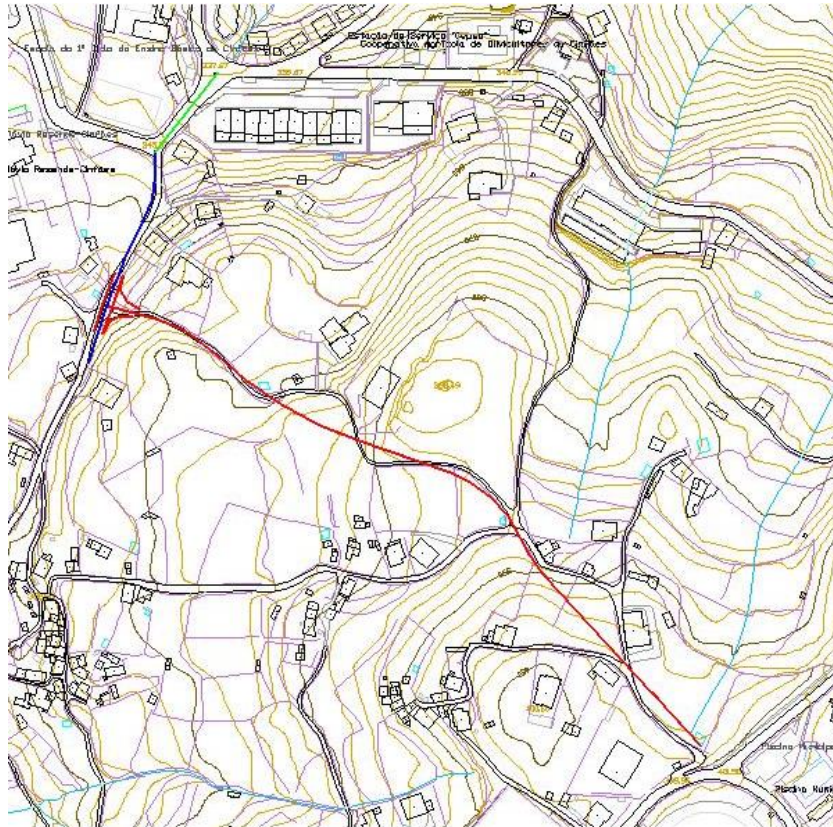


Fonte: Google Earth

Figura 6 – Relevo

Para a determinação da figura acima apresentada, recorreu-se ao Google Earth com ampliação de elevação de valor igual a 3, o que permitiu uma melhor perceção do relevo.

Neste trabalho é utilizado um levantamento topográfico, em formato (.dwg), fornecido pela C.M.C. da zona denominada por Bouças, onde estão representados os edifícios, cursos de água, vias pavimentadas e não pavimentadas, assim como outros tipos de instalações. É ainda indicado o eixo inicial da via a projetar (linha vermelha), conforme indicado na Figura 7.



Fonte: C3D

Figura 7 – Levantamento Topográfico lugar das Bouças (Esc. 1/1000)

O levantamento teve que ser bastante trabalhado e ajustado, para que pudesse ser utilizado e para que os resultados retirados fornecessem o rigor necessário para um trabalho desta natureza.

Uma das alterações efetuadas ao levantamento fornecido foi no espaçamento das curvas de nível.

O levantamento apresentava curvas de nível espaçadas de 2,0 m, onde através do software C3D, foi possível obter curvas espaçadas de 1,0 m, representada na Figura 8, que permite uma melhor definição do tipo de terreno.



Fonte: C3D

Figura 8 – Topografia com curvas de nível espaçadas de 1m (Esc. 1/1000)

Comparando uma determinada área da zona em estudo, antes e depois de ser efetuada a diminuição do espaçamento, ilustrada respetivamente pela Figura 9, pode verificar-se um aumento do número de curvas de nível e conseqüentemente uma melhor definição do terreno (superfície), para uma maior precisão.

Este tipo de procedimento aumenta a qualidade da superfície para estudos futuros, melhorando as condições do projetista.



Fonte: C3D

Figura 9 – Diferenças de levantamentos topográficos

A modelação de uma superfície com recurso à criação de linhas 3D entre os pontos mais próximos nem sempre é a mais eficaz e precisa. Desta forma, recorre-se a um melhoramento da superfície utilizando características lineares representadas no terreno, como os muros e/ou acessos existentes.

Com a aplicação de linhas de quebra, as linhas 3D são forçadas a alinharem-se com as superfícies lineares, neste caso os muros e acessos, originando um modelo muito mais preciso.

2.4. Análise e Verificação no Local

Numa fase inicial do projeto deve-se ter em consideração visitas ao local para reconhecimento de alguns pormenores que possam condicionar o traçado da via.

Numa deslocação ao local proposto para a construção da via foram documentados vários pontos de interesse com recurso a fotografias e apontamentos diversos.

2.4.1. Verificação de condicionantes de traçado

Inicialmente foi analisado um ponto importante e crítico como o desnível entre o que será o início da nova via com a existente como indica a Figura 10.



Figura 10 – Reconhecimento (início da via a projetar)

Continuando o percurso da via, em pavimento semi-rígido de blocos de granito, com cerca de 2,80 m de largura, por volta dos 75 m de extensão, depara-se com outra condicionante para o traçado pretendido.

Essa condicionante é a proximidade entre duas habitações, Figura 11, que provavelmente dificultará a análise do traçado em planta.



Figura 11 - Reconhecimento (aos 75 m da via a projetar)

Outro fator a ter em consideração para o traçado é o declive acentuado que se faz sentir ao longo do percurso, mas principalmente no fim, que coincidirá com o fim da via a projetar.

A Figura 12 demonstra esse declive, que se deve ter em conta aquando do traçado da via.



Figura 12 – Reconhecimento (fim da via a projetar)

De referir neste ponto, que o possível e necessário alargamento da via deverá ser efetuado para o lado esquerdo do eixo, uma vez que predominantemente as habitações se encontram do lado oposto.

2.4.2. Alargamento de via

Um dos pontos deste trabalho passa também por projetar o alargamento de uma via (Figura 7, linha azul), em pavimento betuminoso, que fará a ligação entre a via a projetar e a EN222, Figura 13.



Figura 13 – Via a alargar (acesso à EN222)

Neste caso não existirão grandes dificuldades uma vez que condicionantes, como habitações, estão relativamente afastadas do eixo da via. Mesmo assim, de forma semelhante ao que acontece na via principal a projetar (via entre Estádio Municipal e esta via), o alargamento desta via será efetuado para o lado esquerdo do eixo uma vez que existe mais disponibilidade de terreno.

2.4.3. Reabilitação de pavimento

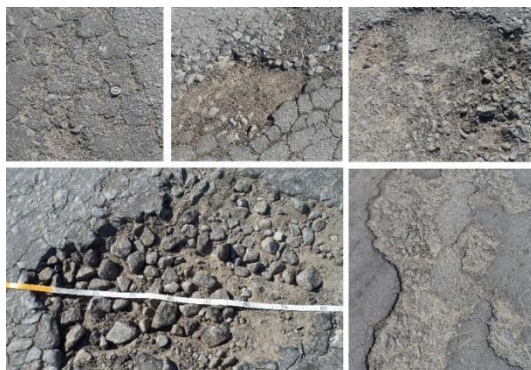
Outro ponto, este posteriormente sugerido à C.M.C., é a reabilitação do pavimento de um pequeno troço (Figura 7, linha verde) que ligará a EN222 à via a alargar, anteriormente apresentada, Figura 14.



Figura 14 – Troço de via a requalificar pavimento

Este troço apresenta já uma largura de via ideal (cerca de 7 m), por esse motivo propôs-se apenas mudar o pavimento.

A alteração de pavimento foi sugerida devido ao estado de degradação do mesmo, onde, pela Figura 15, se podem verificar várias patologias referentes a pavimentos flexíveis.



a) Ninhos (Covas)

Figura 15 – Patologias de pavimento

As patologias (cavas ou ninhos) indicadas são provocadas essencialmente pela desagregação da camada de desgaste do pavimento.

2.5. Serviços Afetados

Uma obra de engenharia deste tipo implica uma alteração do meio envolvente ao local de implantação da via, de tal forma que existem serviços afetados, como os serviços de eletricidade e de telecomunicações, que necessitam ser retirados e recolocados noutros locais.

Após visita ao local, Figura 16, verificou-se que algumas instalações desses serviços seriam afetados, pelo que se teria que analisar quais.



Figura 16 – Serviços afetados

Registaram-se os elementos verticais (postes) constituintes de cada serviço realizando-se uma planta de serviços afetados, apresentada em anexo.

2.6. Estudos de Condicionantes e Ordenamento

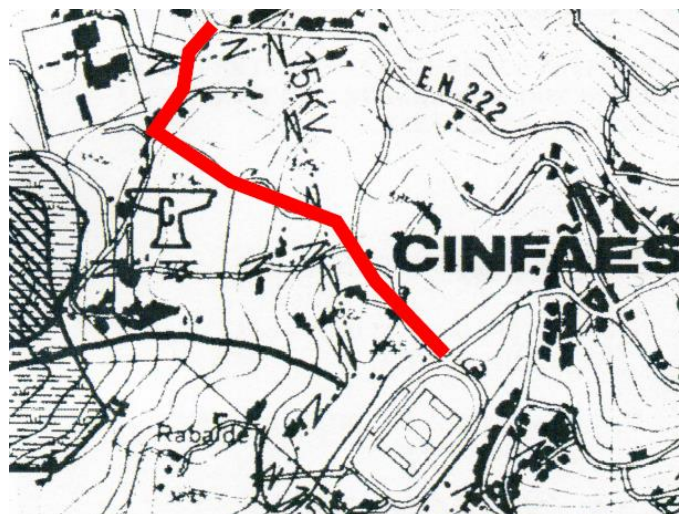
As condicionantes ambientais são de relevante importância, no que diz respeito ao ordenamento do território, quando associadas à preservação ou proteção dos recursos naturais de determinada região.

Todas as zonas possuem características físicas (hidrológicas, climatéricas, vegetação, entre outras) que sustentam uma biodiversidade de espécies com determinados atributos e fragilidades. A constante urbanização e a alteração do modo de vida das populações podem afetar as características naturais do território, no entanto, estas têm vindo a adaptar-se de modo a não perturbarem os sistemas ambientais existentes.

De forma geral, as condicionantes ambientais a serem consideradas, para a realização de obras que possam criar algum tipo de impacto, são:

- Recursos Hídricos;
- Regime Florestal;
- Reservas Agrícolas,
- Reservas Ecológicas;
- Rede Natura 2000;
- Rede Nacional de Áreas Protegidas.

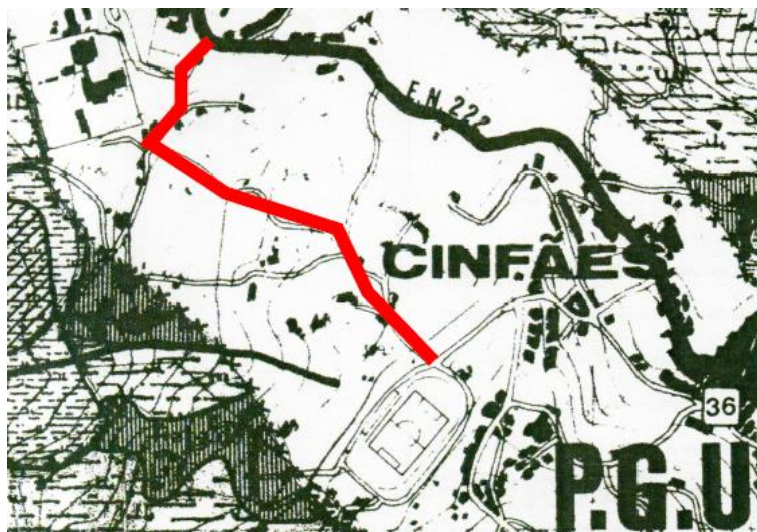
No âmbito do enquadramento deste trabalho com as condicionantes de ordenamento, foram obtidas na C.M.C. (formato .pdf) plantas de condicionantes e ordenamento, delineando-se um traçado, conforme demonstra a Figura 17, para verificar se existiriam limitações na implantação da via.



Fonte: Planta de Condicionantes (C.M.C.)

Figura 17 – Verificação de planta de condicionantes

De modo semelhante, na planta de ordenamento, foi inserido o alinhamento prévio, Figura 18, para que se pudesse analisar se o traçado não seria implantado sobre alguma condicionante.



Fonte: Planta de Ordenamento (C.M.C.)

Figura 18 – Verificação de planta de ordenamento

Estas plantas foram importantes para determinar se o traçado, a ser estudado, afetaria alguma das condicionantes anteriormente referidas.

De acordo com as imagens apresentadas e a legenda das plantas de condicionantes e ordenamento (verificar anexo), o traçado não afetará nenhuma das condicionantes ambientais apresentadas, pelo que não será necessário considerar impedimentos neste aspeto.

3. Conceitos Teóricos

3.1. Breves Noções

O Plano Rodoviário Nacional (PRN 2000) define a rede rodoviária nacional como sendo constituída pela rede nacional fundamental e pela rede nacional complementar.

A rede nacional fundamental integra os Itinerários Principais (IP) que são vias de comunicação de maior interesse nacional, servem de apoio a toda a rede rodoviária nacional e asseguram a ligação entre os centros urbanos com influência supra-districtal e destes com os principais portos, aeroportos e fronteiras. [3]

A rede nacional complementar é constituída pelos Itinerários Complementares (IC) e pelas Estradas Nacionais (EN). Os itinerários complementares são as vias que no contexto do plano rodoviário nacional estabelecem as ligações de maior interesse regional, bem como as principais vias envolventes e de acesso nas áreas metropolitanas de Lisboa e Porto. [3]

A rede nacional de Auto-Estradas (AE) é formada pelos elementos da rede rodoviária nacional especificamente projetados e construídos para o tráfego motorizado. As comunicações públicas rodoviárias do continente, com interesse supramunicipal e complementar à rede rodoviária nacional, são asseguradas por Estradas Regionais (ER).

As estradas não incluídas no plano rodoviário nacional integram as redes municipais, sob a tutela das câmaras municipais.

3.2. Geometria do Traçado

A elaboração de um projeto de uma estrada em Portugal rege-se pela Norma de Traçado (P3/94) da ex. Junta Autónoma de Estradas (JAE), atual IP-Infraestruturas de Portugal, com o intuito de obter uma rede bem estruturada e proporcionar boas condições de circulação aos condutores.

O objetivo passa pela construção de estradas que ofereçam segurança, um bom nível de serviço, uma boa integração paisagística, assim como custos de construção e manutenção aceitáveis.

Para se definir a geometria de uma estrada é necessário traçar a diretriz (eixo da estrada em planta), a rasante (perfil longitudinal) e os respetivos perfis transversais, entre outros.

A topografia da zona de construção condiciona a velocidade que por sua vez influencia a distância de visibilidade. Para que um traçado em planta possa ser considerado cómodo e

seguro são necessárias condições essenciais como homogeneidade, compatibilidade entre velocidade base e de tráfego, e distâncias de visibilidade.

3.3. Velocidade

A velocidade é um dos principais parâmetros para escolha e controlo dos elementos geométricos do traçado, pois permite ter em consideração de uma forma racional os critérios de economia, segurança e comodidade. [3]

A Norma de Traçado da JAE apresenta três conceitos de velocidade que influenciam as características técnico-geométricas do traçado: velocidade base, específica e de tráfego.

3.3.1. Velocidade base

É definida como sendo a velocidade máxima que deverá ser assegurada ao longo de todo o traçado (critério de segurança).

Em Portugal na elaboração de um projeto de vias de comunicação, a primeira velocidade a ser estabelecida é a velocidade base. A escolha da velocidade base depende do tipo de estrada, assim como das características topográficas, fatores ambientais e económicos, dos objetivos do tráfego e do nível de serviço.

No Quadro 1 são apresentadas as velocidades base consideradas na Norma de Traçado para as estradas nacionais:

Quadro 1 - Velocidade base em função do tipo de estrada (JAE, 1994)

TIPO DE ESTRADA	VELOCIDADE BASE (km/h)				
	140	120	100	80	60
ITENERÁRIOS PRINCIPAIS	X _(a)	X _(b)	X	X _(c)	-
ITENERÁRIOS COMPLEMENTARES	-	X _(b)	X	X	X _(c)
OUTRAS ESTRADAS	-	-	X	X	X

Fonte: Normas de Traçado (JAE)

- a) Só em auto-estradas
- b) Só em estradas com faixas de rodagem unidireccionais
- c) No caso de estradas com faixas de rodagem unidireccionais deverá ser devidamente justificado o recurso a esta velocidade

De acordo com a norma, a velocidade base permitirá definir a maioria das características geométricas, tais como, o raio mínimo em planta, a inclinação máxima em perfil longitudinal e o perfil transversal tipo dos *Itinerários Principais e Complementares*. Nas *Outras Estradas*, a

velocidade base será utilizada para a determinação de todas as características geométricas do traçado.

A velocidade base deve manter-se constante ao longo de toda a estrada no sentido de uniformizar as características geométricas mínimas apresentadas aos condutores. No caso de não ser possível esta homogeneidade, a alteração deve ser feita de forma gradual, delimitando a variação da velocidade base entre secções consecutivas em 10 km/h.

A velocidade adotada para este projeto é de 40 km/h, dado o seu carácter urbano.

3.3.2. Velocidade específica

A velocidade específica define-se como sendo a velocidade máxima que pode ser obtida com segurança em qualquer elemento do traçado, considerado isoladamente. Contrariamente à velocidade base, é definida segundo os critérios de segurança. A velocidade específica varia ao longo do traçado de acordo com os diferentes elementos geométricos que o condutor vai encontrando.

Esta velocidade deve ser considerada para o dimensionamento dos elementos geométricos influenciados pela visibilidade, e por norma, deverá ser considerado um diagrama de velocidades específicas que represente a variação gráfica desta velocidade ao longo do traçado, obtendo-se um parâmetro de avaliação homogéneo.

Os valores da velocidade específica em curva definidos pela Norma são os apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Velocidade específica em curva

ESTRADAS COM DUAS VIAS		ESTRADAS COM 2 X 2 VIAS	
RAIO (m)	VELOCIDADE ESPECÍFICA (km/h)	RAIO (m)	VELOCIDADE ESPECÍFICA (km/h)
180	70	-	-
210	75	-	-
240	80	-	-
280	85	-	-
320	90	320	90
370	95	370	95
420	100	420	100
470	105	470	105
530	110	530	110
580	115	580	115
≥620	120	620	120
-	-	710	125
-	-	≥780	130

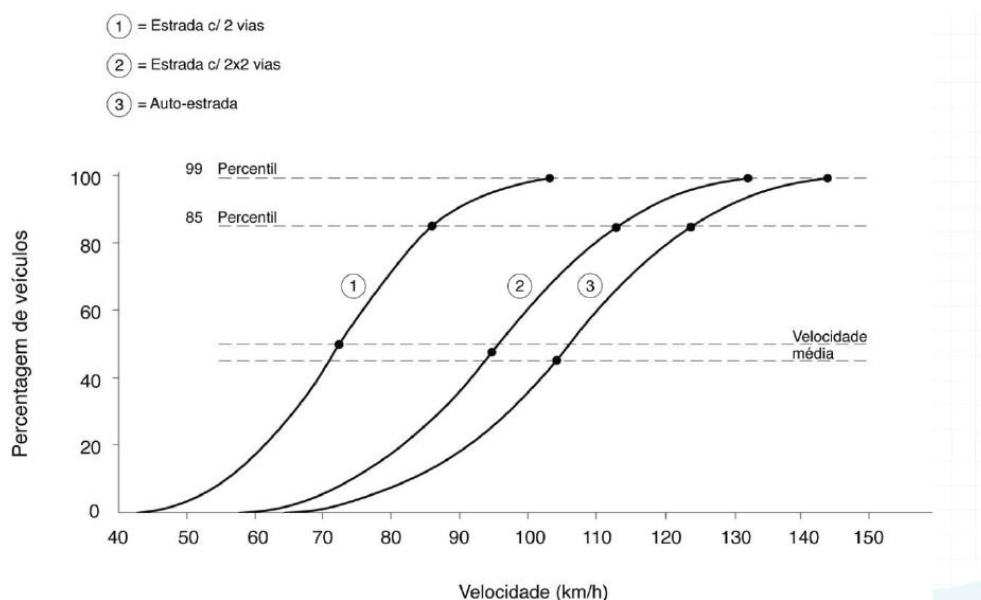
Fonte: JAE

Ainda segundo as Normas de Traçado, é técnica comum a consideração da velocidade de tráfego como representativa da velocidade específica, uma vez que, para a definição das características geométricas do traçado de uma estrada não seria prático a utilização da velocidade específica de cada elemento. [6]

Os valores da velocidade específica serão superiores em alinhamentos retos do que em curvas, sendo ainda nestas os valores mais baixos, mas de menor raio.

3.3.3. Velocidade de tráfego

É a velocidade que é excedida numa estrada ou parte dela apenas por 15% dos veículos. Representa que cerca de 85% dos condutores circulam a velocidade razoável e segura em condições reais, tendo em conta o traçado e o meio envolvente. A Figura 19 apresenta a distribuição cumulativa de velocidades para cada tipo de estrada.



Fonte: Revisão da Norma de Traçado

Figura 19 – Distribuição cumulativa de velocidades

A velocidade referente ao percentil 85 é normalmente considerada como uma velocidade crítica, pois velocidades superiores a esta são normalmente perigosas em termos de segurança de circulação, relativamente a condições externas.

No Quadro 3 encontra-se, segundo a Norma, a velocidade de tráfego a considerar em cada caso.

Quadro 3 – Velocidades de tráfego nas estradas nacionais

VELOCIDADE BASE V_B (km/h)	VELOCIDADE DE TRÁFEGO V_T (km/h)
40	50
60	80
80	100
100	120
120	130

Fonte: Revisão da Norma de Traçado

Pode-se então admitir que para a definição das características geométricas de uma estrada deve ter-se em consideração a velocidade base e a velocidade de tráfego, que origina um conceito mais realista, uma vez que a velocidade praticada pelos condutores varia ao longo do trajeto consoante as características do traçado.

O Quadro 4 refere a velocidade a considerar na definição das diferentes características geométricas do traçado.

Quadro 4 – Velocidade a considerar nos vários elementos do traçado

ELEMENTOS DO TRAÇADO	VELOCIDADE	
	VELOCIDADE BASE	VELOCIDADE DO TRÁFEGO ^(a)
Raio mínimo em planta	X	-
Trainel máximo	X	-
Perfil transversal tipo	X	-
Distância de visibilidade	-	X
Raio mínimo das concordâncias verticais	-	X

Fonte: Sebenta de Vias de Comunicação (ISEP, 2012)

(a) Esta velocidade só será considerada nos IP's e nos IC's.

3.4. Estatísticas de Tráfego

A seleção das características técnicas relativas a um projeto de estrada deve ser realizada tendo em conta o tráfego que vai circular nessa via. É necessário conhecer o número total de veículos dos diferentes tipos e a sua distribuição no tempo, assim como determinar o nível de serviço pretendido e o volume de projeto para o ano horizonte.

Existem basicamente dois métodos de contagem de tráfego: por observação ou por meio de dispositivos mecânicos.

A contagem por observação consiste em colocar em locais pré-definidos observadores, que vão contando e distinguindo o tipo de tráfego por sentido. Por meios mecânicos a contagem é global, ou seja, não faz a distinção do tipo de tráfego, funcionando pela pressão que os veículos provocam num tubo instalado no pavimento que transmite a informação a uma membrana que atua como contador por contato elétrico.

3.4.1. Tráfego médio diário anual

Uma forma de conhecer a importância económica de uma estrada, assim como justificar os investimentos a aplicar, passa por conhecer o seu tráfego diário. O tráfego médio diário anual (T.M.D.A.) é o volume total de tráfego que passa nos dois sentidos de uma estrada durante um ano, dividido por 365 dias.

3.4.2. Volume horário de projeto

Em fase de projeto é considerado habitualmente o volume horário de projeto (V.H.P.) correspondente ao volume da 30ª hora de ponta (cujo tráfego apenas é excedido 30 horas num ano).

O volume horário de projeto pode ser estimado pela seguinte expressão:

$$VHP = TMDA \times k_1 \times k_2 \quad (1)$$

em que:

VHP – volume horário de projeto, em veículos por hora e por sentido;

$TMDA$ – tráfego médio diário anual, em veículos por dia;

k_1 – fração do TMDA em hora de ponta;

k_2 – fração do tráfego em hora de ponta no sentido mais solicitado.

Os valores de k_1 dependem essencialmente do tipo de estrada, enquanto que k_2 influencia o desequilíbrio nos volumes de tráfego verificado nas horas de ponta, ver Quadro 5.

Quadro 5 – Valores usuais de k_1 e k_2

TIPO DE ESTRADA	k_1	k_2
Rural	0,15 - 0,25	0,65 - 0,80
Suburbana	0,12 - 0,15	0,55 - 0,65
Urbana		
Via Radial	0,07 - 0,12	0,55 - 0,60
Via Circular	0,07 - 0,12	0,50 - 0,55

Fonte: Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes

3.5. Nível de Serviço

A seleção das características técnicas relativas a um projeto deve ser efetuado em função do nível de serviço e do VHP.

O nível de serviço é uma medida qualitativa das condições de circulação: velocidade, segurança, custo da operação e comodidade, asseguradas aos utilizadores por uma infraestrutura rodoviária, sendo caracterizado normalmente pela velocidade de operação. [4]

De forma sucinta, pode-se descrever nível de serviço como as condições de circulação proporcionadas aos usuários de uma estrada num determinado instante, de acordo com a máxima perda de tempo admissível e a velocidade média de tráfego.

Para definir o nível de serviço, Quadro 6, proporcionado aos utentes de uma estrada, são necessários três parâmetros:

- Velocidade média de percurso – razão entre o comprimento do troço e o valor médio do tempo ocupado em o percorrer por todos os veículos que circulam na estrada;
- Proporção do atraso – proporção do tempo total do percurso na qual os veículos são forçados a praticarem velocidades mais reduzidas por motivo de impossibilidade de ultrapassagem;
- Proporção da capacidade utilizada – quociente entre fluxo existente e a capacidade da infraestrutura.

Quadro 6 – Níveis de Serviço

	NÍVEL DE SERVIÇO					
	A	B	C	D	E	F
Velocidade média percurso	≥93 km/h	≥88 km/h	≥83 km/h	≥80 km/h	≥72 km/h	-
Débito	420 uvl/h	750 uvl/h	1200 uvl/h	1800 uvl/h	2800 uvl/h	-
Valor do atraso	<30 %	<45 %	<60 %	<75 %	>75 %	-

Fonte: Sebenta de Vias de Comunicação (ISEP, 2012)

em que:

uvl/h – unidade de veículos ligeiros por hora.

Como se pode verificar pelo quadro anterior os níveis de serviço são seis, diminuindo de qualidade oferecida de “A” até “F”.

NÍVEL DE SERVIÇO “A” – permite uma ótima circulação, a velocidades desejáveis, sem perturbação entre condutores. Nível de conforto e conveniência excelentes.

NÍVEL DE SERVIÇO “B” – permite correntes de tráfego estáveis, já com alguma aglomeração de outros veículos, diminuindo a liberdade de manobras.

NÍVEL DE SERVIÇO “C” – permite correntes de tráfego estáveis, embora as condições operacionais dos condutores sejam verdadeiramente afetadas, requerendo grande atenção na execução de manobras.

NÍVEL DE SERVIÇO “D” – a corrente de tráfego mantém-se estável mas com elevados volumes, diminuindo o nível de conforto e conveniência. A velocidade e liberdade de manobra são gravemente afetadas, provocando grandes dificuldades de circulação.

NÍVEL DE SERVIÇO “E” – condições de operação iguais à capacidade, com velocidades baixas, conforto e conveniência diminutos enquanto há um crescente sentimento de frustração. Uma simples perturbação na corrente de tráfego pode ditar a interrupção da circulação.

NÍVEL DE SERVIÇO “F” – correntes de tráfego com circulação forçada e paragens, provocando filas de espera devido ao volume de tráfego exceder as capacidades para as quais foi projetada a estrada.

O volume de serviço é o número máximo de veículos que podem circular num determinado troço de uma estrada, num sentido ou em ambos, durante uma hora (débito horário máximo), sem que haja alteração das características da circulação relativas ao nível de serviço a que esse volume se refere. [4]

A cada nível de serviço corresponde um volume de serviço, cujo valor depende, essencialmente, das características geométricas da estrada e da composição do tráfego que nela circula.

Os volumes de serviço são determinados pela metodologia constante na versão do “Highway Capacity Manual”. [5]

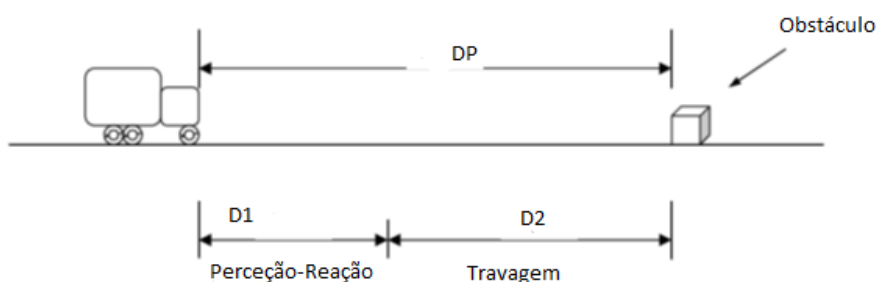
3.6. Visibilidade

A visibilidade de uma estrada, denominada como a extensão contínua de estrada visível pelo utente, é um dos parâmetros fundamentais em relação à segurança e eficiência da condução. Deve-se assegurar que a distância de visibilidade seja suficiente, de tal forma que permita aos condutores controlar a velocidade dos seus veículos, evitando assim colidir com obstáculos inesperados na faixa de rodagem.

Nas Normas de Traçado são considerados três tipos de distâncias de visibilidade: paragem, decisão e ultrapassagem, as quais se descrevem de seguida.

3.6.1. Distância de visibilidade de paragem

A distância de visibilidade de paragem é a mínima distância necessária para que um condutor, quando circula a uma determinada velocidade, possa imobilizar em segurança o veículo caso surja um obstáculo na faixa de rodagem, Figura 20.



Fonte: AASHTO

Figura 20 – Esquema representativo da distância de visibilidade de paragem

A distância de visibilidade de paragem é a mínima distância de visibilidade que se deve assegurar quando não é economicamente viável garantir uma distância de visibilidade superior. É medida entre os olhos do condutor (cerca de 1,00 m a 1,05 m acima do pavimento) e um obstáculo no pavimento com 0,15 m de altura.

A distância de visibilidade de paragem é determinada pela junção de duas parcelas, descrevendo a primeira a distância percorrida durante o tempo de percepção e reação do condutor (adota-se $t \approx 2$ segundos), e a segunda, a distância percorrida durante o tempo de travagem que é função da velocidade de tráfego, do coeficiente de atrito longitudinal e da inclinação do trainel ($\pm i$, consoante trainel ascendente ou descendente respetivamente). É considerada a seguinte expressão para a velocidade de paragem:

$$DP = \frac{V_T}{1,8} + \frac{V_T^2}{254 + (f_1 \pm i)} \quad (2)$$

em que:

DP – distância de visibilidade de paragem (m);

V_T – velocidade de tráfego (km/h);

f_1 – coeficiente de atrito longitudinal;

i – inclinação do trainel (%).

Os valores mínimos da distância de visibilidade de paragem que devem ser considerados em projeto são os indicados no Quadro 7, onde são igualmente apresentados os valores das distâncias de visibilidade de decisão e ultrapassagem.

Quadro 7 – Distâncias de visibilidade mínimas

VELOCIDADE DO TRAFEGO (km/h)	DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE (m)		
	PARAGEM (DP)	DECISÃO (DD)	ULTRAPASSAGEM (DU)
40	40	-	280
50	60	-	350
60	80	200 ^(a)	420
70	100	240	490
80	120	270	560
90	150	300	630
100	180	330	700
110	220	370	770
120	250	400	840
130	320	430	910
140	390	470	980

Fonte: Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes

(a) Valor a considerar quando a velocidade for <60 km/h

3.6.2. Distância de visibilidade de decisão

A distância de visibilidade de paragem não é suficiente para garantir uma operação eficiente aos utentes de uma estrada, ou seja, comodidade e segurança. Quando as decisões a tomar pelos condutores são de complexidade superior, ou caso a sinalização não seja explícita, a utilização da distância de visibilidade de paragem torna-se inadequada.

A distância de visibilidade necessária para que um condutor, ao assimilar informação imprevista como alteração das características da estrada, possa adaptar a velocidade mais apropriada para a execução da manobra necessária, designa-se por distância de visibilidade de decisão. Desta forma, em todos os locais que possam provocar dúvidas aos condutores, é necessário garantir que seja aplicada a distância de visibilidade de decisão. São incluídos neste caso interseções, nós de ligação, diminuição do número de vias, entrecruzamentos, áreas de serviço e instalações similares.

A distância de visibilidade de decisão, Quadro 7, é função da velocidade do tráfego sendo determinada pela expressão empírica:

$$DD = 3,3 \times V_T \quad (3)$$

em que:

DD – distância de visibilidade de decisão (m);

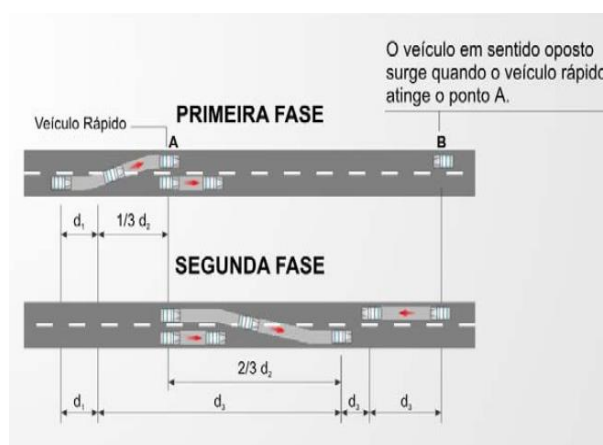
V_T – velocidade do tráfego (km/h).

3.6.3. Distância de visibilidade de ultrapassagem

A distância de visibilidade de ultrapassagem define-se como sendo a mínima distância de visibilidade necessária para que o condutor de um veículo ultrapasse outro veículo de forma segura e confortável. [4]

A manobra de ultrapassagem deve ser realizada sem a obrigação de diminuição da velocidade por parte de um veículo que circule em sentido contrário, sendo este observado apenas depois de a manobra ser iniciada e, depende de vários fatores como a velocidade do veículo a ultrapassar, bem como do veículo e condutor que realiza a ultrapassagem.

De acordo com o modelo da Figura 21, a distância mínima de visibilidade de ultrapassagem para vias de pistas simples é determinada pela soma de quatro parcelas.



Fonte: Green Book (AASHTO, 2004)

Figura 21 – Fases da manobra de ultrapassagem

Essas parcelas estão representadas na equação seguinte:

$$DVU = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \quad (4)$$

em que:

DVU – distância de visibilidade de ultrapassagem (m);

d_1 – distância percorrida durante o tempo de percepção-reação, acrescida do tempo gasto para posicionamento na faixa da esquerda (m);

d_2 – distância percorrida pelo veículo ultrapassante enquanto circula na via de sentido oposto até voltar a faixa da direita (m);

d_3 – distância de segurança entre o veículo ultrapassante e o que circula em sentido contrário no fim da manobra de ultrapassagem (m);

d_4 – distância percorrida à velocidade base pelo veículo em sentido oposto, durante a manobra de ultrapassagem (m).

Segundo alguns estudos, em cerca de 95% das manobras, o tempo ocupado varia entre 4 e 15 segundos, contudo quanto maior for a distância de visibilidade de ultrapassagem maior é o número de manobras efetuadas.

No Quadro 7 estão referidos os valores de distância de ultrapassagem correspondentes às respetivas velocidades específicas, podendo deste modo, a distância de visibilidade de ultrapassagem ser determinada pela expressão empírica:

$$DU = 7 \times V_T \quad (5)$$

em que:

DU – distância de ultrapassagem (m);

V_T – velocidade do tráfego (km/h).

As distâncias de visibilidade referidas no Quadro 7 garantem, com relativa segurança, a cerca de 85% dos condutores a distância de visibilidade de ultrapassagem necessária, excluindo as horas de ponta e restantes condutores.

3.7. Integração Paisagística

Os aspetos de integração paisagística devem ser considerados juntamente com a segurança e restantes fatores de elaboração do projeto. Este aspeto é de elevada importância essencialmente se as estradas se localizarem em zonas de beleza natural, em que o traçado deve harmonizar-se com o meio ambiente.

Para preservar esta harmonia, a velocidade base de projeto pode ser condicionada, e deve-se ter em conta alguns aspetos estéticos como:

- A implantação do traçado deve permitir preservar o ambiente natural e observação da paisagem;
- Limitar as escavações e aterros de modo a obter-se uma aparência agradável;
- Minimizar a destruição da vegetação e em caso de zona florestal realizar um inventário das variedades afetadas;
- Taludes suavizados e revestidos com vegetação para integrarem o meio ambiente.

4. Caraterísticas Geométricas de Infraestruturas Rodoviárias

4.1. Traçado em Planta

O traçado em planta de uma estrada permite estabelecer o “movimento” sobre um plano horizontal tornando compatíveis as condições de segurança e velocidade. A topografia, assim como os locais de passagem obrigatórios, são fatores que influenciam as condições de traçado.

É necessário garantir três condições, essenciais, de modo a que o traçado em planta possa ser considerado comodo: homogeneidade, compatibilidade entre as velocidades base e de tráfego, e consideração de distâncias de visibilidade. [6]

A escolha do traçado em planta e a sua adaptação ao terreno é de elevada importância condicionando o investimento da obra. Deve-se, em terrenos planos, evitar que o traçado provoque monotonia aos condutores e em terrenos ondulados deve localizar-se em zonas expostas ao sol e estáveis.

Os elementos geométricos que fazem parte do traçado em planta são: alinhamentos retos, curvas circulares e as curvas de transição.

4.1.1. Alinhamentos retos

Os alinhamentos retos são os principais elementos que facultam a existência de distâncias de visibilidade de ultrapassagem. Em termos de segurança, relativamente à monotonia e dificuldade de avaliação da extensão dos troços, tornam-se inconvenientes e de difícil integração na topografia do terreno, obrigando por vezes à existência de grandes movimentos de terras.

As inclinações longitudinais, dos alinhamentos retos extensos, não devem ser constantes para evitar monotonia nos condutores. A extensão máxima (em metros) de um alinhamento reto com inclinação longitudinal constante deve ter um valor máximo de $20V_B$. [7]

Os alinhamentos retos devem respeitar o critério de conforto ótico, desta forma em estradas de uma só faixa mas com dois sentidos, a extensão mínima aconselhada deve ser inferior ou igual a $6V_B$, de acordo com o Quadro 8. [7]

Quadro 8 – Extensões mínima e máxima dos alinhamentos retos- Valores indicativos

Extensão (m)	VELOCIDADE BASE (km/h)										
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Mínima (6V _B)*	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840
Máxima (20V _B **)	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800

Fonte: Revisão da Norma de Traçado

* Nota: não aplicável a estradas com faixas de rodagem bidirecionais

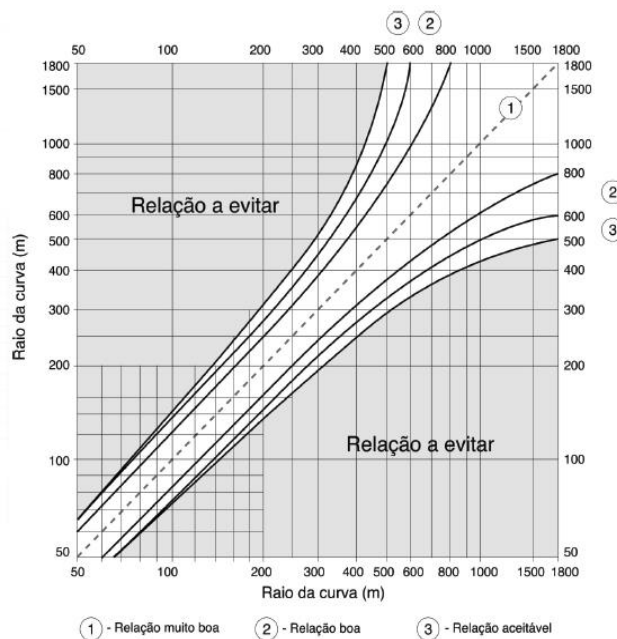
** Nota: aplicável em trainéis com inclinação constante

Se possível devem evitar-se alinhamentos retos com orientação a nascente ou poente, para evitar o encandeamento pelo sol, e deve-se, sempre que possível, realizar um traçado a favor da orientação do vento.

4.1.2. Curvas circulares

Tendo em consideração as condicionantes topográficas do terreno, o valor do raio das curvas circulares deve ser o maior possível, para que permita a visibilidade da estrada e perceção do traçado ao condutor. Por outro lado, na consideração dos valores dos raios, deve-se ter em conta a necessidade de coordenar o traçado e o perfil longitudinal com a paisagem. [7]

Por razões económicas, de segurança e ambiente, deve existir uma correlação equilibrada entre raios de curvas sucessivas em função das velocidades base, ver Figura 22.



Fonte: Revisão da Norma de Traçado

Figura 22 – Traçado em planta de curvas circulares, combinação de raios desejável

Na obtenção de um traçado homogéneo, este tipo de correlação deverá existir entre todas as curvas de um troço de estrada, em função das velocidades base para que foi projetada e não apenas entre curvas sucessivas. [6]

Deve-se, também, relacionar os raios das curvas circulares com a extensão dos alinhamentos retos antecedentes para obter um troço homogéneo. Essa relação representativa, uma vez que a velocidade base pode obrigar à utilização de raios superiores, como consta no Quadro 9.

Quadro 9 – Raios mínimos em função da extensão dos alinhamentos retos

TIPO DE ESTRADA	EXTENSÃO DO ALINHAMENTO RETO (m)	RAIO MÍNIMO DA CURVA CIRCULAR (m)
IP e IC	$AR \geq 600$	$R > 600$
	$AR < 60$	$R > AR$
Outras Estradas	$AR \geq 500$	$R > 500$

Fonte: Sebenta de Vias de Comunicação (ISEP, 2012)

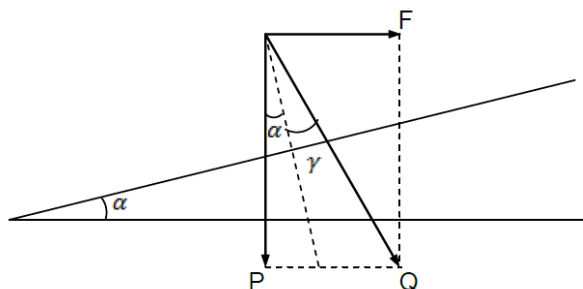
São estabelecidos, para as curvas circulares, dois tipos de raios mínimos, os raios mínimos absolutos (RA) e os raios mínimos normais (RN), devendo os RA ser utilizados em casos excepcionais, uma vez que originam acelerações centrífugas elevadas.

4.1.3. Raios mínimos

Para comodidade e segurança do utente de um veículo que circula numa curva circular, os raios mínimos das curvas devem limitar-se a valores que facultem conforto e segurança à maior parte dos condutores.

Em relação à estabilidade do veículo em curva, é de salientar a ação da força centrífuga ser compensada pelo condutor e reduzida pela introdução da sobreelevação. Desta forma, o incómodo causado ao condutor surge da força centrífuga que não é compensada pela sobreelevação, que na prática é originado pelo atrito entre o pneu e o pavimento. [6]

Na Figura 23 são representadas as forças atuantes no movimento de um veículo ao descrever uma trajetória circular quando este circula a uma determinada velocidade.



Fonte: Sebenta de Vias de Comunicação (ISEP, 2012)

Figura 23 - Forças atuantes num veículo em curva

A equação que permite determinar a força centrífuga a que um veículo está sujeito quando circula em curva é a seguinte:

$$F = \frac{P}{g \times \frac{v^2}{R}} \quad (6)$$

em que:

P – peso do veículo;

v – velocidade (m/s);

R – raio (m);

g – aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$).

A resistência à força centrífuga é garantida pela força de atrito transversal, que é realizada pelo contato do pneu com o pavimento e pelo peso do veículo, no sentido contrário à força centrífuga, originada pela implantação da sobrelevação. [7]

Neste caso pode-se deduzir a seguinte expressão [7]:

$$R = \frac{V_B^2}{127 \times (f_t + Se)} \quad (7)$$

em que:

R – raio da curva (m);

V_B – velocidade base (km/h);

Se – sobrelevação ($\%/100$);

f_t – coeficiente de atrito transversal.

Para minimizar o incómodo dos condutores é necessário limitar os valores de Se e f_t . [4]

Na maioria dos países europeus a sobrelevação é limitada a 7%, sendo o valor desejável de 5%, os valores de f_t correspondente a cada velocidade base encontram-se no Quadro 10.

Quadro 10 – Coeficientes de atrito transversal

VELOCIDADE BASE V_B (km/h)	f_t
40	0,16
50	0,16
60	0,15
70	0,15
80	0,15
90	0,13
100	0,12
110	0,1
120	0,09
130	0,08
140	0,06

Fonte: Revisão da Norma de Traçado

4.1.3.1. Raios mínimos absolutos

Os raios mínimos absolutos (RA) são determinados em função da velocidade base e devem ser aplicados somente em situações excepcionais, pelos motivos anteriormente descritos. A Norma refere que o valor máximo admissível para a aceleração centrífuga sem sobrelevação é de 0,22g.

O Quadro 11 demonstra os raios mínimos absolutos, os valores máximos do coeficiente de atrito transversal, a aceleração centrífuga total e a aceleração centrífuga não compensada pela sobrelevação.

Quadro 11 – Raios mínimos absolutos

VELOCIDADE BASE (km/h)	RAIO ABSOLUTO Se=7%	$\frac{v^2}{3,6^2 R}$ (m/s ²)	$g \times Se$ Se=7% (m/s ²)	$\frac{V_B^2}{3,6^2 \times R} - g \times Se = g \times f_t$	f_t
40	55	2,24	0,7	1,54	0,154
50	85	2,27	0,7	1,57	0,157
60	130	2,14	0,7	1,44	0,144
70	180	2,1	0,7	1,4	0,14
80	240	2,06	0,7	1,36	0,136
90	320	1,95	0,7	1,25	0,125
100	420	1,84	0,7	1,14	0,114
110	560	1,67	0,7	0,97	0,097
120	700	1,59	0,7	0,89	0,089
130	900	1,45	0,7	0,75	0,075
140	1000	1,26	0,7	0,56	0,056

Fonte: Normas de Traçado (JAE)

Da observação do quadro anterior pode reter-se que as acelerações centrífugas totais ($a_n = \frac{v^2}{3,6^2 R}$), para velocidades inferiores a 80 Km/h, estão próximas do máximo admissível ($0,22 \times 9,8 = 2,16 \text{ m/s}^2$) de acordo com o descrito anteriormente, enquanto que os valores da aceleração centrífuga não compensada ($\frac{V_B^2}{3,6^2 \times R} - g \times Se = g \times f_t$) pela sobreelevação são relativamente inferiores.

Para o cálculo da aceleração centrífuga não compensada limita-se a 7% o valor da sobreelevação, para evitar derrapagem dos veículos mais lentos para o interior da curva, em caso de pisos escorregadios por más condições climatéricas.

O coeficiente de atrito entre os pneus e pavimentos com gelo é aproximadamente 0,1, o que indica que um veículo parado ou que circule a baixas velocidades tem tendência a derrapar para o interior da curva, para sobreelevações próximas dos 10%. [7]

4.1.3.2. Raios mínimos normais

Recomenda-se a utilização dos raios mínimos normais (RN), que oferecem melhores condições de segurança e comodidade comparados com as dos raios mínimos absolutos.

Os raios mínimos normais resultam da expressão utilizada na obtenção dos raios mínimos absolutos, mas admitindo um menor valor de f_t e Se de 5%.

Os valores de f_t devem ser determinados, sendo os resultados obtidos na ordem de grandeza de 0,06.

A aceleração centrífuga deverá ter um valor correspondente a 50% do máximo admissível, ou seja 0,11g para garantir uma circulação cómoda, obtendo-se a seguinte expressão:

$$RN = \frac{V_B^2}{3,6^2 \times 0,11g} \quad (8)$$

em que:

RN – raio mínimo normal, em m ;

V_B – velocidade base, em km/h ;

g – aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Utilizando a expressão (8) e os diferentes valores de velocidade base obtêm-se os valores reais, que arredondando, são os apresentados pela norma.

Os valores de cálculo, assim como a aceleração centrífuga total e os valores referenciados na norma são representados no Quadro 12.

Quadro 12 – Raios mínimos normais

VELOCIDADE BASE (km/h)	RN cálculo (m)	RN adotado (m)	$\frac{v^2}{3,6^2 R}$ (m/s ²)
40	114,41	110	1,12
50	178,76	180	1,07
60	257,42	250	1,11
70	350,37	350	1,08
80	457,63	450	1,10
90	579,19	550	1,14
100	715,04	700	1,10
110	865,20	850	1,10
120	1029,66	1000	1,11
130	1208,43	1200	1,09
140	1401,49	1400	1,08

Fonte: Sebenta de Vias de Comunicação (ISEP, 2012)

Pela sua análise, verifica-se que devido ao arredondamento do raio normal de cálculo, os valores da aceleração centrífuga total são próximos de metade do máximo admissível ($0,11g = 1,10 \text{ m/s}^2$).

De uma forma geral, caso não existam condições especiais, os raios mínimos em planta a considerar em projeto são os apresentados no Quadro 13.

Quadro 13 – Raios mínimos em planta

VELOCIDADE BASE (km/h)	RAIO MÍNIMO ABSOLUTO (m)	RAIO MÍNIMO NORMAL (m)
40	55	110
50	85	180
60	130	250
70	180	350
80	240	450
90	320	550
100	420	700
110	560	850
120	700	1000
130	900	1200
140	1000	1400

Fonte: Normas de Traçado (JAE)

Na Figura 24 está representado o gráfico ilustrativo do Quadro 13, com o objetivo de facilitar a perceção da variação dos raios mínimos em função da velocidade base. Pela visualização pode-se concluir que o RA tem um crescimento praticamente exponencial, enquanto RN apresenta um crescimento variável.

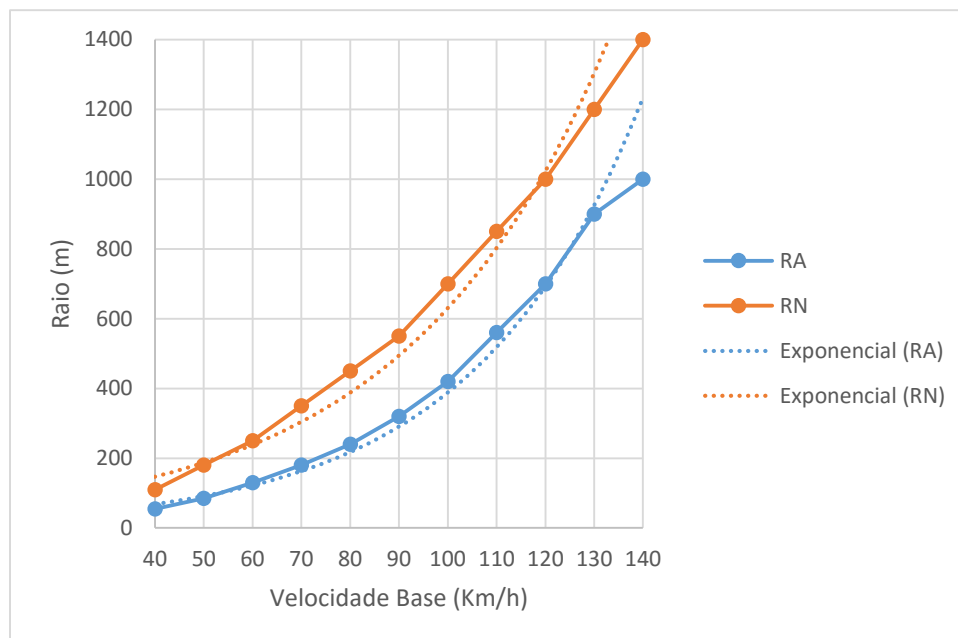


Figura 24 – Variação de raios mínimos em função da velocidade base

4.1.4. Sobrelevação

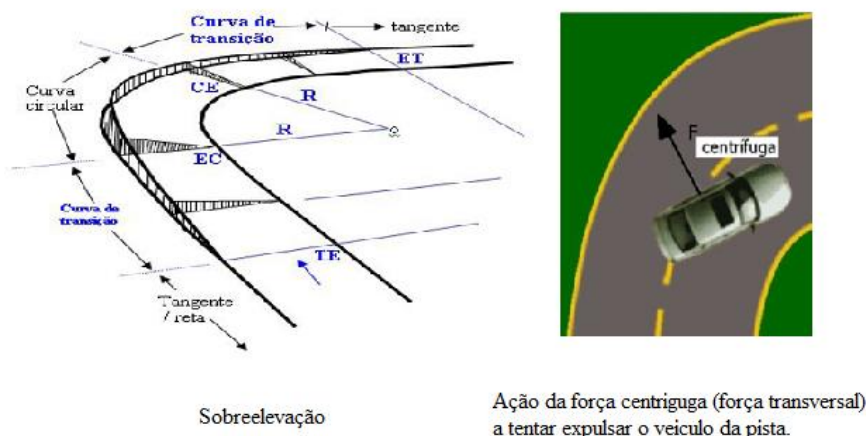
Os veículos em movimento circular são submetidos a ações de forças transversais denominadas por força centrífuga.

Com o intuito de compensar esta solicitação, adicionalmente à força de atrito entre os pneus e o pavimento, aplica-se uma inclinação transversal da estrada, com declive para o interior da curva, designada sobrelevação.

Aumentando o raio da curva a força centrífuga diminui, pelo que se pode equilibrar esta força apenas como atrito transversal, dispensado desta forma a aplicação da sobrelevação.

Valores de S_e inferiores aos desejáveis podem originar acidentes, uma vez que, a inclinação transversal é definida habitualmente pelo raio da curva, ou seja, para maiores raios menores valores de sobrelevação.

O desenvolvimento da sobrelevação deve ser progressivo ao longo da curva, para que ao entrar, a inclinação transversal já seja a ideal, Figura 25.



Fonte: Disponível em InfoEscola

Figura 25 – Exemplo de sobreelevação

Como anteriormente referenciado, raios maiores não necessitam de valores de sobreelevação tão altos como raios menores, podendo verificar-se esta relação no Quadro 14.

Quadro 14 – Sobreelevação em curvas circulares

ESTRADAS COM DUAS VIAS		ESTRADAS DE VIAS MÚLTIPLAS	
RAIO (m)	SOBREELEVAÇÃO (%)	RAIO (m)	SOBREELEVAÇÃO (%)
<450	7	<900	7
525	6,5	1100	6,5
600	6	1300	6
700	5,5	1500	5,5
850	5	1750	5
1000	4,5	2000	4,5
1200	4	2250	4
1400	3,5	2600	3,5
1600	3	3000	3
1900<R <2500	2,5	3500<R <5000	2,5
>2500	-	>5000	-

Fonte: Sebenta de Vias de Comunicação (ISEP, 2012)

Curvas com grandes raios e em que a incomodidade pela aceleração centrífuga não corresponda a níveis que levem o condutor a reduzir a velocidade não necessitam de sobreelevação.

A inclinação transversal das bermas deve acompanhar a inclinação transversal da plataforma. Relativamente à berma exterior da curva, este facto é menos benéfico pela necessidade adicional de drenagem de águas pluviais.

4.1.5. Sobrelargura

Os veículos longos (pesados) ao circularem em curva necessitam de um espaço suplementar. Este aumento da largura da faixa de rodagem depende essencialmente das características geométricas, das dimensões e velocidade de circulação do veículo, e também, do raio da curva.

Pode-se então definir a sobrelargura (Sl) como o acréscimo total de largura aplicado às faixas de rodagem em curva, considerando as exigências operacionais e assegurando o conforto e segurança dos condutores.

Apenas se justifica a utilização de sobrelargura, ver Figura 26, em curvas com valores de raio relativamente reduzidos, geralmente em via urbanas pelas condicionantes de traçado, ou em estradas com zonas topográficas complicadas. A existência de passeios pavimentados ao nível da plataforma da estrada contribui para a redução da sobrelargura necessária na via.

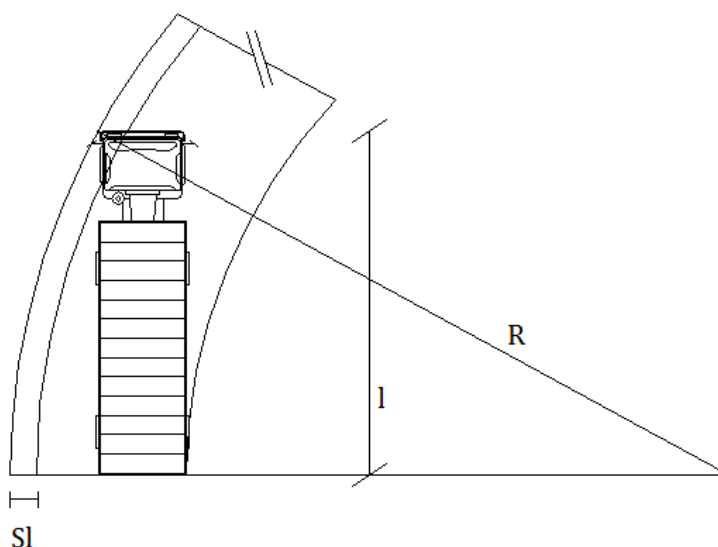


Figura 26 - Sobrelargura

A necessidade de utilização de sobrelargura é essencialmente relacionada aos veículos pesados, sendo desprezível para os veículos ligeiros, uma vez que tem maior dirigibilidade que os veículos de grande porte.

Pela observação da figura anterior pode-se concluir que:

$$R^2 = (R - Sl)^2 + l^2 \quad (9)$$

em que:

Sl – sobrelargura (m);

l – extensão do veículo tipo (m);

R – raio da curva circular (m).

Desprezando Sl^2 tem-se:

$$Sl = \frac{l^2}{R^*} \quad (10)$$

* No conjunto das duas vias (por via deve-se multiplicar o raio por 2)

Admitida a extensão do veículo ($l = 9,0 m$) obtém-se:

$$Sl = \frac{80}{R} \quad (11)$$

O alargamento da faixa será realizado ao longo da extensão da curva de transição, geralmente pelo intradorso, mas pode também ser efetuado em ambos os lados, originando assim alargamentos assimétricos ou simétricos, respetivamente.

Como referenciado anteriormente, apenas se deve considerar sobrelargura em curvas de raios reduzidos. Deste modo, não se deve efetuar este alargamento de via para curvas com raio superior a 200,00 metros.

4.1.6. Curvas de transição

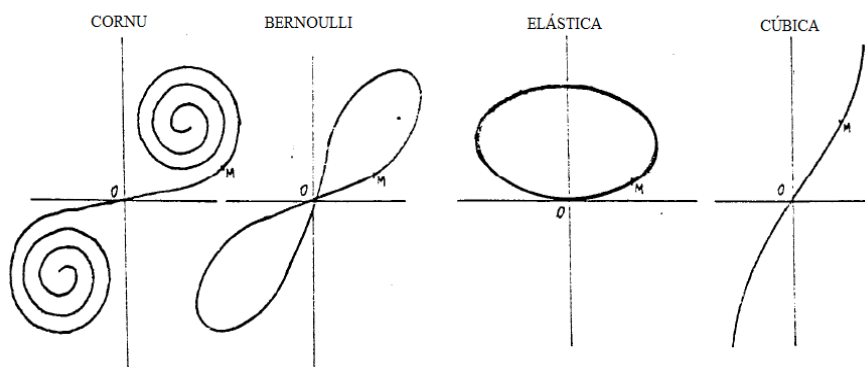
As curvas de transição são elementos intercalares entre os alinhamentos retos e as curvas circulares. [6]

Estas curvas devem assegurar uma variação contínua da aceleração centrífuga sentida na passagem do alinhamento reto para a curva circular, não devendo ser esta aceleração, por razões de segurança e comodidade, superior a $0,5 m/s^2$. Outras funções que devem assegurar são, a transição da sobreelevação e da sobrelargura, e melhorar a comodidade ótica do traçado garantindo no mínimo um ângulo de deflexão de 3,5 graus. [4]

Assim como no dimensionamento das curvas circulares, e atendendo às funções acima descritas, o desenvolvimento destas curvas deve ser no mínimo o comprimento da distância percorrida, à velocidade base, durante dois segundos.

4.1.6.1. Tipos de curvas de transição

Muitas curvas da matemática poderiam ser adaptadas à avaliação. As mais utilizadas no projeto de estradas são as radióides (radióide dos arcos, clotóide ou espiral de cornu; as radióide das cordas ou lemniscata de Bernoulli e as radióide das abscissas ou curva elástica) e as parábolas cúbicas, representadas na Figura 27.



Fonte: Disponível em ebah (Projeto Geométrico de Rodovias)

Figura 27 – Tipos de curvas de transição

4.1.6.2. Clotóide

Entre as curvas de transição devem ser adotadas clotóides, por motivos de segurança e comodidade, que diminuem a influência da aceleração centrífuga, pelos raios se desenvolverem na razão inversa da força transversal.

A clotóide pode ser definida pela seguinte expressão:

$$A^2 = R \times L \quad (12)$$

em que:

A – parâmetro da clotóide (m);

R – raio da curva circular (m);

L – extensão da clotóide (m).

Sugere-se que a extensão das duas curvas de transição de uma curva circular devem rondar ente 1/3 a 2/3 do desenvolvimento total do alinhamento curvo e devem apresentar parâmetros de clotóides (A), preferencialmente iguais, que garantem $2/3 < A_1/A_2 < 3/2$. [6]

A clotóide é apropriada para estabelecer a ligação de um alinhamento reto para uma curva uma vez que o seu desenvolvimento varia na razão inversa ao raio da curva.

O parâmetro (A) da clotóide a adotar em cada situação deve satisfazer no mínimo as seguintes condições: [6]

Condição 1

Limitando o valor máximo da aceleração centrífuga ($a_c=0,50 \text{ m/s}^3$), tem-se:

$$A_1 \geq 0,1464 \sqrt{\frac{V_B^3}{a_c}} \quad (13)$$

Condição 2

Admitindo a transição da sobrelevação, considerando Δi máximo ($\Delta i_{\text{máx}}=1,5\%$), e admitindo uma largura da faixa ($l=7,00 \text{ m}$), vem:

$$A_2 \geq \sqrt{R \left(\frac{lSe}{2\Delta i} \right)} \quad (14)$$

Condição 3

Admitindo uma extensão que demore pelo menos 2 segundos a ser percorrida à velocidade base e um determinado raio:

$$A_3 \geq \sqrt{\frac{R \times V_B}{1,8}} \quad (15)$$

Condição 4

Impondo um ângulo mínimo de deflexão de 3,5 graus, para melhorar a comodidade ótica do traçado, obtém-se:

$$A_4 \geq \frac{R}{3} \quad (16)$$

Pode concluir-se que para as curvas de pequeno raio a condicionante é o critério da comodidade, enquanto que para as curvas de grandes raios é o critério da percepção ótica.

No Quadro 15 é efetuada uma análise dos parâmetros mínimos da clotóide pelos critérios acima descritos, complementado pelos valores mínimos definidos.

Quadro 15 – Análise comparativa dos parâmetros mínimos da clotóide

V _B (km/h)	V _T (km/h)	RN (m)	Se (%)	Δ _i (%)	A _{min}				
					$0,1464 \sqrt{\frac{V_B^3}{a_c}}$	$\sqrt{R \left(\frac{LSe}{2\Delta_i} \right)}$	$\sqrt{\frac{R \times V_B}{1,8}}$	$\frac{R}{3}$	Norma
40		110	7	1,5	53		50	37	35
50		180	7		74		71	60	50
60	80	250	7	1,0	97	79	92	84	70
70		350	7		122		117	117	90
80	100	450	7	0,8	149	118	142	150	120
90		550	6,5		177			183	150
100	120	700	5,5	0,8	207	146	197	234	180
120	130	1000	4,5	0,8	273	175	259	334	270
140	140	1400	3,5	0,8	343	207	330	467	410

Fonte: Avaliação de Traçados Rodoviários

4.1.6.3. Homogeneidade de traçado em planta

A Norma de Traçado indica um conjunto de recomendações para se atingir um traçado em planta homogéneo, mas apela simultaneamente ao bom senso do projetista.

Deve-se ter cuidado na localização de interseções, que são zonas de pontos de conflito e com inúmeras decisões a efetuar pelo condutor, pelo que devem ser inseridas em alinhamentos retos e com distâncias de visibilidade mínimas iguais à distância de visibilidade de decisão.

A utilização dos raios mínimos absolutos deve ser evitada uma vez que garantem no limite as condições mínimas de segurança.

Curvas de pequeno raio nunca devem ser localizadas junto a alinhamentos retos de grande extensão, devido à necessidade de redução brusca da velocidade base. A redução da velocidade base deve ser realizada de forma progressiva recorrendo a sucessivas curvas com redução dos respetivos raios. Por outro lado, deve ter-se em atenção evitar grandes variações dos raios em curvas sucessivas, tendo em conta o representado na Figura 22.

São de evitar mudanças significativas na direção do traçado, garantindo clotóides e alinhamentos retos mínimos entre curvas sucessivas de sentido contrário.

De uma forma geral o Quadro 16 apresenta as condicionantes indicadas pela Norma de Traçado relativamente aos elementos constituintes do traçado em planta em função da velocidade base definida em projeto.

Quadro 16 – Parâmetros fundamentais do traçado em planta

	PARÂMETRO	VELOCIDADE BASE (km/h)										
		40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
ALINHAMENTOS RETOS	EXTENSÃO MÍNIMA (m)	-	-	360	420	480	540	600	660	720	780	840
	EXTENSÃO MÁXIMA (m)	-	-	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800
ALINHAMENTOS CURVOS	RAIO MÍNIMO NORMAL (m)	110	180	250	350	450	550	700	850	1000	1200	1400
	EXTENSÃO MÍNIMA CURVAS (m)	30	40	50	65	90	115	150	190	250	320	400
	PARÂMETRO MÍNIMO CLOTÓIDE	35	50	70	90	120	150	180	220	270	330	410
	RAIO MÍNIMO SEM SOBRE- ELEVAÇÃO (m)	≥2500						≥5000				

Fonte: Sebenta de Vias de Comunicação (ISEP, 2012)

4.2. Perfil Longitudinal

Para uma análise mais perceptível dos conceitos anteriormente apresentados recorre-se a uma representação gráfica do perfil longitudinal, onde no eixo das ordenadas (y) são apresentadas as cotas altimétricas e, no eixo das abcissas (x) são apresentadas as distâncias horizontais (alinhamento do eixo da via) ou estacas.

Deve-se ter em consideração, num estudo do perfil longitudinal, o traçado em planta, a topografia, a distância de visibilidade, a segurança, a drenagem, interação com meio ambiente e os custos de construção.

A constituição de um perfil longitudinal é originada pelo conjunto de trainéis e concordâncias verticais que definem a estrada.

O perfil longitudinal neste trabalho é representado com espaçamentos de 12,50 m, devido ao troço de estrada em estudo ser muito reduzido e com bastantes curvas, obtendo-se desta forma maior definição na apresentação do perfil.

4.2.1. Trainéis

Para o estudo dos trainéis deve-se ter em consideração a sua extensão e inclinação, para garantir o nível de serviço proposto, principalmente para os veículos pesados. É necessário considerar a distância de travagem, em ambos os sentidos do trainel, essencialmente no sentido descendente.

Na Norma de Traçado são apresentados valores de inclinação máxima, em função da velocidade base, e os valores da inclinação mínima.

4.2.1.1. Inclinação máxima

Em trainéis extensos e com grande inclinação que obriguem a diminuição da velocidade, essencialmente dos veículos pesados, devem-se adotar maiores distâncias de travagem em descidas.

Para extensões de trainéis não superiores a três quilómetros observa-se, pelo Quadro 17, as respetivas inclinações máximas em função da velocidade base.

Quadro 17 – Inclinação máxima dos trainéis

VELOCIDADE BASE (km/h)	INCLINAÇÃO MÁXIMA DESEJÁVEL (%)
40	8
60	7
80	6
100	5
120	4 (a)
140	3

Fonte: Normas de Traçado (JAE)

(a) Em auto-estradas a inclinação máxima deverá ser 3%

Em caso de terreno com topografia acidentada, os valores apresentados no quadro anterior podem ser aumentados em 1% para trainéis com extensão máxima de 600 metros, e 2% para extensão máxima de 300 metros. [4]

Neste projeto, considerando a velocidade base anteriormente referida, a inclinação máxima adotada é de 10% uma vez que a extensão dos trainéis não ultrapassa os 300 metros definidos pela norma.

Em interseções a inclinação máxima do trainel da via principal não deverá ultrapassar o valor de 4%.

4.2.1.2. Inclinação mínima

Por motivos de segurança, a fim de garantir uma drenagem longitudinal regular das águas pluviais, é adotada uma inclinação mínima de 0,5% que se deve manter na zona de curva considerando a sobre-elevação, ou seja:

$$i - \Delta i = 0,5\% \quad (17)$$

em que:

i – inclinação do trainel (%);

Δi – inclinação do bordo exterior da faixa de rodagem em relação ao eixo (%).

São de evitar trainéis com pouca inclinação, principalmente se a sobrelevação também for reduzida.

4.2.1.3. Extensão crítica

A extensão crítica de um trainel é a extensão máxima que, em função da velocidade base e inclinação, influencia a diminuição da velocidade de um veículo pesado, em 15 km/h, em relação a um veículo ligeiro, admitindo que a velocidade do pesado no início do trainel é de 90 km/h. [6]

O incumprimento desta noção influencia o tipo de condução e resposta do condutor, pelo que, quanto maior for a extensão e inclinação dos trainéis, maior é a taxa de acidentes envolvendo veículos pesados. Para um diferencial de velocidades na ordem dos 25 km/h a taxa de envolvimento dos veículos pesados é nove vezes superior à dos ligeiros.

Os valores de referência para as extensões críticas referidos na Norma são os apresentados no Quadro 18.

Quadro 18 – Extensão crítica dos trainéis

INCLINAÇÃO DO TRAINEL	3%	4%	5%	6%	7%	8%
EXTENSÃO CRÍTICA (m)	420	300	230	180	150	120

Fonte: Sebenta de Vias de Comunicação (ISEP, 2012)

Neste projeto a inclinação do trainel máxima a ser utilizada é de 10% ao que corresponde uma extensão crítica de 120 m.

4.2.2. Concordâncias verticais

Como ligação entre dois traineis utilizam-se curvas circulares ou parabólicas, com o objetivo de garantir segurança e comodidade de circulação.

As curvas parabólicas são mais simples de calcular, de melhor comodidade, e com vantagens de visibilidade quando comparadas com as curvas circulares.

Devem-se evitar concordâncias verticais do mesmo sentido, separadas por um trainel pouco extenso, principalmente concordância côncavas, cujos efeitos óticos são desagradáveis. [6]

Para velocidades elevadas são adotadas concordâncias convexas com grandes raios por questões de comodidade, uma vez que as concordâncias côncavas são definidas no limite do critério de comodidade.

4.2.2.1. Concordância convexa

O raio das concordâncias convexas é condicionado pela distância de visibilidade de paragem. A distância de visibilidade de paragem pode ser superior à extensão da concordância, tendo neste caso interesse para a verificação da distância de visibilidade de ultrapassagem. [7]

Através das distâncias de visibilidade de paragem, referidas no Quadro 7, determinam-se os respetivos raios pela seguinte expressão simplificada:

$$R = 0,25 \times DP^2 \quad (18)$$

em que:

R – raio da concordância convexa (m);

DP – distância de visibilidade de paragem (m).

No Quadro 19 indicam-se os raios mínimos das concordâncias convexas, assim como os respetivos desenvolvimentos mínimos.

Quadro 19 – Raio mínimo das concordâncias convexas

VELOCIDADE BASE (km/h)	RAIO MÍNIMO		DESENVOLVIMENTO MÍNIMO		RAIO MÍNIMO ULTRAPASSAGEM (b) (m)
	ABSOLUTO (a) (m)	NORMAL (m)	ABSOLUTO (a) (m)	NORMAL (m)	
40	1500	1500	40	60	2500
50	1500	2100	50	60	4500
60	2000	3000	60	120	6500
70	3000	4200	70	120	8000
80	5000	6000	80	120	11000
90	7500	8500	90	120	14000
100	9000	12500	100	120	17000
110	12000	13000	110	120	22000
120	14000	16000	120	120	28000
140	20000	20000	140	140	28000

Fonte: Normas de Traçado (JAE)

4.2.2.2. Concordâncias côncavas

No dimensionamento das concordâncias côncavas tem que se garantir que a distância iluminada pelos faróis de um veículo nunca seja inferior à distância de visibilidade de paragem.

Uma vez que, quanto menor o raio da concordância menor a distância iluminada e conseqüentemente pior é a visão, e considerando a altura dos faróis de 0,75 m, assim como o ângulo formado pela iluminação, utiliza-se a seguinte expressão na determinação do raio da concordância:

$$R = \frac{DP^2}{1,5 + 0,035 \times DP} \quad (19)$$

No Quadro 20 indicam-se os raios mínimos das concordâncias convexas, assim como os respetivos desenvolvimentos mínimos.

Quadro 20 – Raio mínimo das concordâncias côncavas

VELOCIDADE BASE (km/h)	RAIO MÍNIMO (m)	DESENVOLVIMENTO MÍNIMO (m)
40	800	60
50	1200	60
60	1600	120
70	2500	120
80	3500	120
90	4500	120
100	5500	120
110	6000	120
120	7000	120
140	8000	140

Fonte: Sebenta de Vias de Comunicação (ISEP, 2012)

4.3. Perfil Transversal

O perfil transversal é definido como o conjunto da faixa de rodagem, bermas, valetas, taludes e separador central. É um elemento determinante, que devido às suas caraterísticas geométricas, principalmente a largura das vias de tráfego, influencia o comportamento do condutor.

4.3.1. Faixa de rodagem

A faixa de rodagem, em termos geométricos é composta pela soma da largura das vias.

Em estradas nacionais a largura das vias deve ser de 3,75 m considerando o afastamento de segurança entre veículos pesados. No caso de outras estradas, o caso deste projeto, podem adotar-se vias com largura de 3 m, sendo a velocidade base inferior a 80 km/h e o volume horário de projeto menor que 300 veículos. [7]

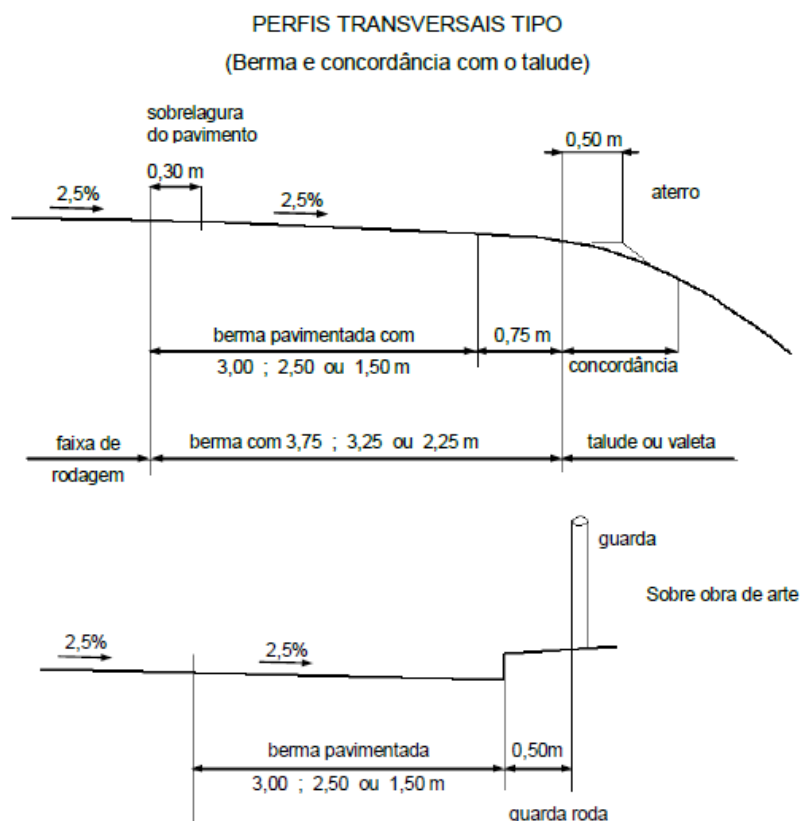
Outros fatores importantes a ter em consideração na elaboração do perfil transversal são a sobrelargura e a sobreelevação.

A sobrelargura, supracitada neste capítulo, pode ser determinada pela expressão (11), enquanto que os valores da sobreelevação podem ser observados no Quadro 14.

4.3.2. Bermas

As bermas podem ser assumidas como “extensões da plataforma” lateralmente, que servem como refúgio a veículos avariados, permitem a circulação de veículos de socorro e aumentam a capacidade da estrada, aumentando a visibilidade lateral e o nível de serviço. [7]

Na Figura 28, representa-se a configuração comum da berma exterior, onde se considera uma zona exterior à berma pavimentada com 0,75 m.



Fonte: Sebenta de Vias de Comunicação (ISEP, 2012)

Figura 28 – Configuração comum de uma berma exterior

As larguras regulamentares das bermas são as representadas no Quadro 21.

Quadro 21 – Larguras regulamentares de bermas

TIPO DE ESTRADA	LARGURA DAS BERMAS PAVIMENTADAS	
	ESQUERDA	DIREITA
	(m)	(m)
Auto-estrada	1,0	3,0
Estradas com 2 vias		
IP's	2,5	2,5
IC's	2,5	2,5
Outras estradas	1,5 (a)	1,5 (a)

Fonte: Sebenta de Vias de Comunicação (ISEP, 2012)

(a) Para volumes horários de projeto superiores a 200 veículos será 2,5 metros.

No presente trabalho, por se tratar de uma via urbana, não foram consideradas bermas, sendo delimitada a faixa de rodagem pelo lancil de passeio pedonal.

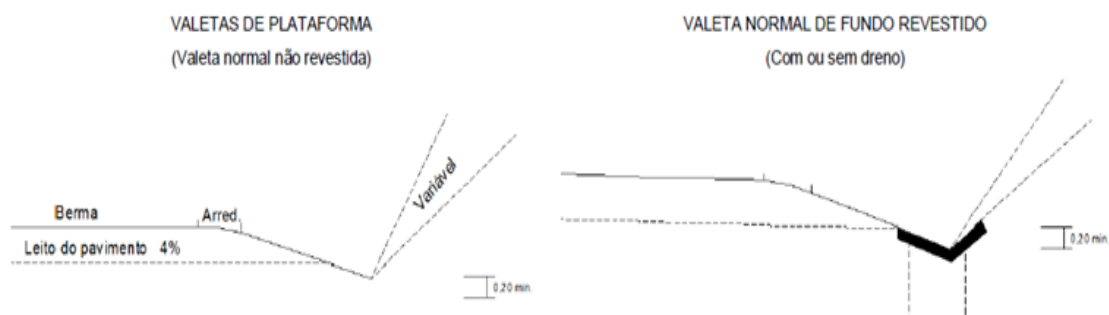
4.3.3. Valetas

As valetas são sistemas destinados a recolher e desviar as águas superficiais da estrada, sendo o seu principal condicionante de dimensionamento o caudal a escoar.

São geralmente triangulares, com o ponto mais baixo a 0,20 m abaixo do leito do pavimento e com lado exterior apresentando uma inclinação máxima de $h/b=2/3$.

As inclinações dos panos interiores das valetas serão sempre inferiores a $h/b=1/3$ e a $h/b=1/2$ para o pano exterior.

Na Figura 29 são representados dois tipos de valetas geralmente utilizadas em vias de comunicação.



Fonte: Sebenta de Vias de Comunicação (ISEP, 2012)

Figura 29 – Tipos de valetas comuns

4.3.4. Taludes

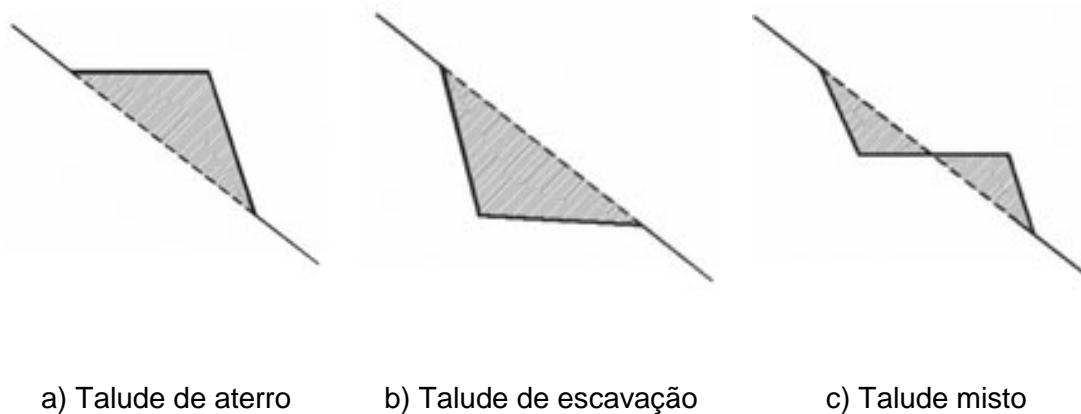
Os taludes são superfícies de terreno expostas que fazem um determinado ângulo com a horizontal.

A inclinação dos taludes em terrenos ondulados deve ser definida considerando a segurança dos utentes em caso de despistes, as características do terreno, adaptação paisagística e proteção contra desmoronamentos. No caso de terreno acidentado devem-se ter cuidados especiais como por exemplo, a construção de túneis de pequena extensão, reduzir a altura dos taludes e drenagens cuidadosas.

A concordância dos taludes de aterro com o terreno natural deve ter a forma côncava. As tangentes dessa concavidade devem ter 3 m, para os taludes com altura superior a 2 m. Quando a altura for inferior a 2 m as tangentes podem ter 1,5 m. [6]

A relação habitual na inclinação de taludes (H:b) com altura superior a 2 m é de 2:3, sendo as dimensões referidas a altura e base do talude respetivamente.

Existem taludes de escavação, de aterro e taludes mistos, conforme a Figura 30.



Fonte: Disponível em ConstruirOnline (Espaços exteriores)

Figura 30 – Tipos de taludes

5. Plataforma Rodoviária

5.1. Considerações Gerais

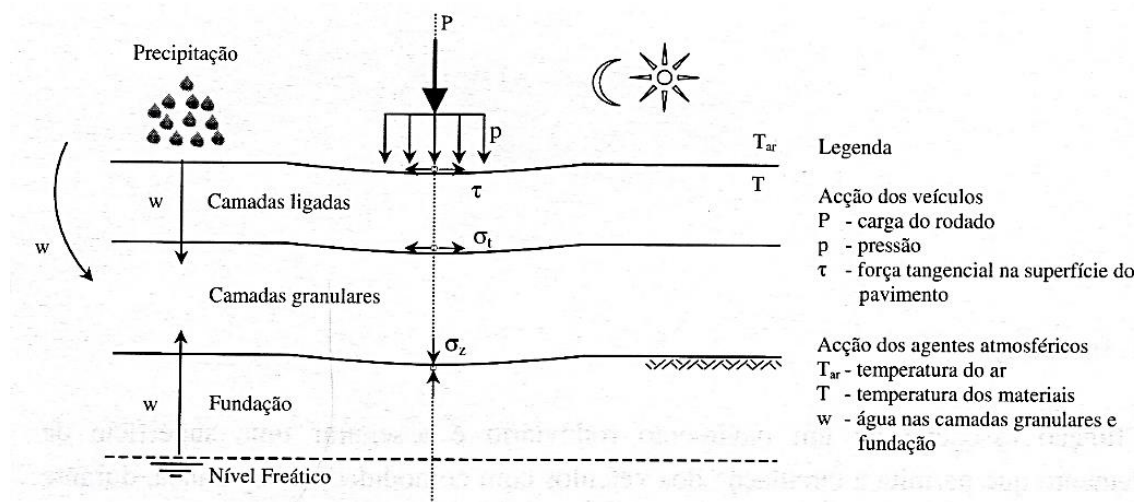
A principal função de um pavimento rodoviário é garantir uma superfície de rolamento que permita a circulação dos veículos com comodidade e segurança, durante um determinado período (período de vida útil do pavimento), sob a ação dos esforços do tráfego, e nas condições climáticas que ocorram. [8]

Existem dois tipos de qualidades que devem ser encontradas num pavimento, a qualidade funcional e a estrutural.

Na qualidade funcional são inseridas características como a textura, a cor, superfície de contato (anti-derrapante) e conduções de ruído, garantindo aos utilizadores conforto e segurança de circulação.

A qualidade estrutural relaciona a integridade da via, regularidade, ausência de deformações e fendas que são provenientes das cargas dos veículos.

Um pavimento rodoviário pode ser definido como sendo um sistema multi-estratificado, de camadas com espessura finita, apoiadas numa fundação semi-indefinida (terreno natural), Figura 31.



Fonte: Pavimentos Rodoviários

Figura 31 – Pavimento rodoviário: constituição e ações

Na figura estão distinguidas, para além da fundação, duas camadas principais do pavimento, as camadas ligadas e as camadas granulares.

As camadas ligadas são constituídas por materiais granulares, ligados por misturas betuminosas, situadas na parte superior do pavimento. Por sua vez, as camadas granulares, situadas abaixo, são constituídas por inertes, britados ou naturais, não sendo ligadas.

Na Figura 31 são ainda representadas as ações relativas aos rodados dos veículos, e as climáticas, associadas às variações de temperatura dos materiais nas diferentes camadas.

As camadas de um pavimento, Figura 32, têm diferentes funções no que diz respeito à qualidade funcional e estrutural anteriormente referenciada. [9]

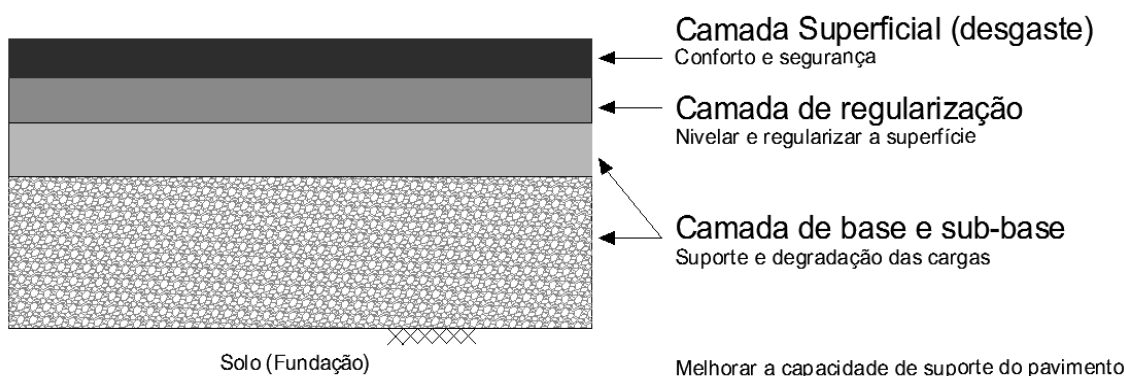


Figura 32 – Camadas de um pavimento

Estas camadas são, geralmente, de qualidade e resistência decrescentes, do topo para a base, em conformidade com a gradual redução dos esforços em profundidade.

Quando solicitados pelas diferentes cargas dos veículos juntamente com as condições climáticas, associando-se os diferentes tipos de materiais constituintes das camadas, resulta a necessidade de adotar diferentes tipos de pavimentos.

Segundo os critérios de tipo de materiais e deformabilidade, Quadro 22, podem dividir-se os pavimentos em três tipos: flexíveis, rígidos e semi-rígidos. [8]

Quadro 22 – Tipos de pavimentos em função dos materiais e da deformabilidade

TIPO DE PAVIMENTO	MATERIAIS (LIGANTE)	DEFORMABILIDADE
Flexível	Hidrocarbonatos e granulares	Elevada
Rígido	Hidráulicos e granulares	Muito reduzida
Semi-rígido	Hidrocarbonatos, hidráulicos e granulares	Reduzida

Fonte: Pavimentos Rodoviários

Os pavimentos flexíveis são constituídos por múltiplas camadas formadas por materiais deformáveis, misturas betuminosas, geralmente betume asfáltico nas camadas superiores e nas camadas inferiores material granular.

Os pavimentos rígidos são constituídos superiormente por uma laje em betão de cimento, ou seja, material granular com ligante hidráulico (cimento Portland), com grande resistência à flexão, que apoia numa camada de fundação granular que pode, ou não, ser também tratada com ligante hidráulico. [8]

Os pavimentos semi-rígidos apresentam características semelhantes aos anteriores. São formados por múltiplas camadas assentes sobre uma camada tratada com ligante hidráulico.

Para além dos pavimentos indicados no quadro anterior, pode ser considerado outro tipo de pavimento, utilizado essencialmente em acessos rurais, agrícolas e zonas ambientais protegidas, que são os pavimentos granulares.

Este tipo de pavimento é essencialmente formado por uma ou duas camadas granulares de materiais inertes tratadas, ou não, com ligantes, geralmente uma pequena percentagem de cimento Portland. [9]

No presente trabalho serão utilizados dois tipos de pavimentos diferentes. Na rodovia será aplicado um pavimento flexível, enquanto que para os passeios (pavimento pedonal) se usará um pavimento semi-rígido.

Todas as características dos pavimentos adotados serão descritas e representadas posteriormente.

5.2. Rodovia

5.2.1. Constituição e comportamento dos pavimentos flexíveis

A constituição de um pavimento flexível depende de vários fatores como a intensidade do tráfego, resistência do solo de fundação e das condições climáticas.

Quando a intensidade de tráfego é reduzida, e financeiramente seja favorável, pode-se optar por pavimentos com maior componente granular. Contrariamente, em pavimentos com elevada intensidade de tráfego deve-se optar por um pavimento com várias camadas betuminosas de espessura significativa.

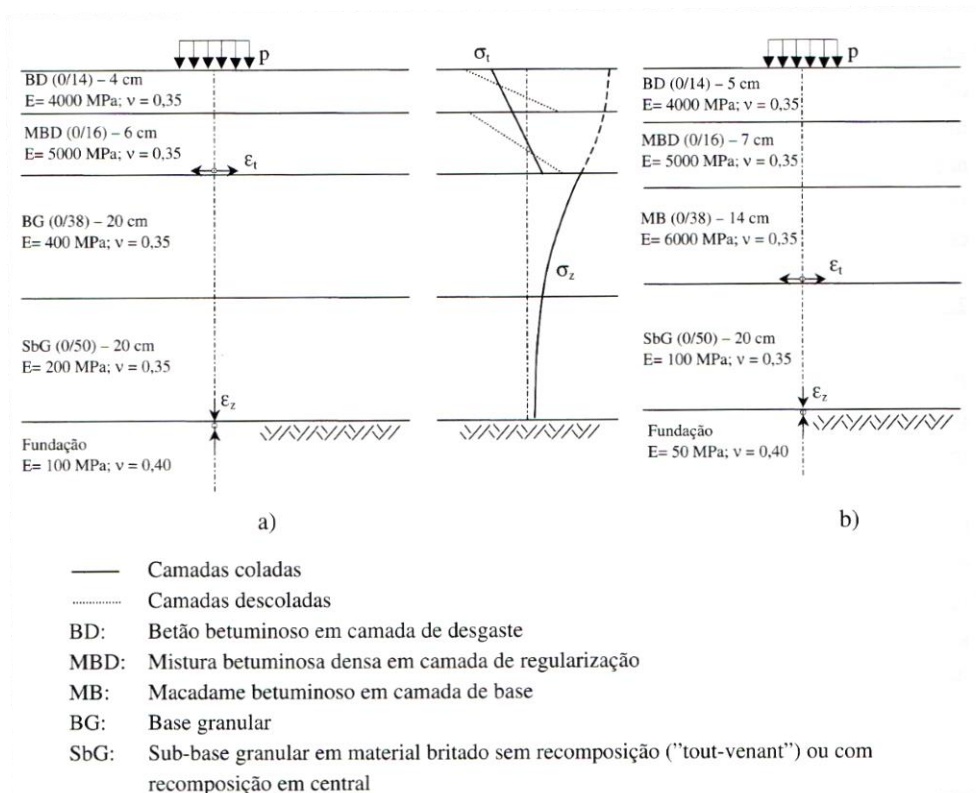
Um pavimento é constituído pelas camadas ligadas, capazes de ligar todos os tipos de esforços (compressão, tração e corte) e as camadas não ligadas, que apenas resistem a esforços de compressão e de corte.

O MACOPAV (Manual de Concepção de Pavimentos) [10] apresenta duas estruturas de pavimentos flexíveis, uma destinada a tráfego reduzido a), e outra destinada a tráfego intenso b).

Para cada estrutura, conforme representado na Figura 33, são indicados os materiais constituintes de cada camada, as suas espessuras, módulos de deformabilidade e coeficientes de Poisson.

A aplicação de “regas de colagem” com ligantes betuminosos entre as camadas tem como objetivo colar as diferentes camadas para que funcionem como uma estrutura única.

Deste modo as camadas betuminosas são submetidas a um estado de tensão, que varia de uma tensão de compressão máxima na face superior da camada de desgaste a uma tensão de tração de valor máximo na face inferior da última camada (traço contínuo, Figura 33). [8]



Fonte: Pavimentos Rodoviários

Figura 33 – Pavimento flexível: constituição e comportamento

Quando as camadas betuminosas não são coladas, cada uma delas apresenta tensões máximas de compressão na face superior e máximas de tração na face inferior (traço

descontínuo, Figura 33), apresentando um estado de tensão mais gravoso que no caso das camadas ligadas. [8]

Os principais esforços considerados no comportamento de um pavimento, aquando da aplicação das ações externas, são as tensões e extensões horizontais de tração (σ_t ; ϵ_t) nas camadas ligadas, com valor mais elevado nas faces inferiores e no eixo de simetria da carga, e as extensões de compressão (σ_z ; ϵ_z) nas camadas granulares e de fundação conforme indicado.

5.2.1.1. Caracterização do tráfego

Para efeitos de dimensionamento de pavimentos rodoviários apenas são consideradas as cargas dos veículos pesados, uma vez que são estas as que mais agravam as características de resistência do pavimento.

O tráfego é constituído por diversos tipos de veículos, que segundo a JAE, se agrupam em 11 categorias de "a" a "k", Figura 34, sendo apenas consideradas as classes de "f" a "k, devido ao seu peso por eixo, importantes para o estudo do comportamento do pavimento.

CAT	SILHUETAS	DESCRIÇÃO
a		Velocípedes sem motor auxiliar
b		Velocípedes com motor auxiliar
VELOCÍPEDES		Categorias a + b
c		Motociclos com ou sem "side car"
d		Automóveis com ou sem reboque, incluindo os veículos comportando o máximo de 9 lugares
e		Camionetas até 3000 kg de carga com ou sem reboque
LIGEIROS		Categorias c + d + e
f		Camións de mais de 3000 kg de carga sem reboque
g		Camións com um ou mais reboques
h		Tractores com semi-reboque Tractores com semi-reboque e um ou mais reboques Tractores com um ou mais reboques
i		Autocarros e trolleybus
j		Tractores agrícolas
k		Tractores sem reboque ou semi-reboque e veículos especiais (cilindros, bulldozers,...)
PESADOS		Categorias f + g + h + i + j + k

Fonte: Pavimentos Rodoviários

Figura 34 – Classificação dos veículos segundo JAE (atual EP)

O peso por eixo dos veículos varia com o tipo de veículo e tipo de carga, sendo para isso necessário definir tais condições.

A Portaria n.º 1092/97 fixa os pesos máximos para os diferentes tipos de veículos e diferentes tipos de eixo conforme o indicado no Quadro 23.

Quadro 23 – Pesos máximos dos veículos pesados (Portaria 1092/97)

TIPO DE VEÍCULO	PESO MÁXIMO (toneladas-força)
A motor	
De 2 eixos	19
De 3 eixos	26
De 4 ou mais eixos	32
Autocarros articulados de 3 eixos	28
Autocarros articulados de 4 ou mais eixos	32
Conjunto tractor - semi-reboque	
De 3 eixos	29
De 4 eixos	38
De 5 ou mais eixos	40
De 5 ou mais eixos transp. um contentor ISO de 40 pés	44
Conjunto motor-reboque	
De 3 eixos	29
De 4 eixos	37
De 5 ou mais eixos	40
Reboques	
De 1 eixo	10
De 2 eixos	18
De 3 ou mais eixos	20

Fonte: Pavimentos Rodoviários

A partir da aplicação de métodos analíticos tem-se vindo a estabelecer procedimentos mais simplificados para a determinação das características resistentes do pavimento.

Em Portugal foi desenvolvido o Manual de Conceção de Pavimentos [10] (MACOPAV), onde se exprimem os efeitos do tráfego pesado em termos de número equivalente de eixos padrão ao longo do período de dimensionamento, considerando eixos padrão de 80 KN para pavimentos flexíveis.

O referido manual indica que o período de dimensionamento em pavimentos flexíveis considerado é de 20 anos.

São, de forma simplificada, consideradas classes de tráfego pesado, definidas pelo tráfego médio diário anual de veículos pesados (TMDA_p) no ano de abertura ao tráfego, como representado na Figura 35.

Classe	TMDA _p	Taxa de crescimento anual (%) ^a	Factores de agressividade		
			Pavimentos flexíveis		Pavimentos rígidos e semi-rígidos
			Eixo 80 kN ^b	Eixo 130 kN ^c	Eixo 130 kN ^b
T ₇	< 50		Estudo específico		
T ₆	50 - 150	3	2	0,29	0,5
T ₅	150 - 300		3	0,43	0,6
T ₄	300 - 500	4	4	0,57	0,7
T ₃	500 - 800		4,5	0,65	0,8
T ₂	800 - 1200	5	5	0,72	0,9
T ₁	1200 - 2000		5,5	0,79	1,0
T ₀	> 2000		Estudo específico		

Fonte: Manual de Pavimentação, CEPSA

Figura 35 - Caracterização das classes de tráfego consideradas no MACOPAV

Para cada classe de tráfego é considerada a respetiva taxa de crescimento anual e fator de agressividade, que permite determinar o número equivalente de eixos padrão.

Posteriormente, serão apresentados todos os cálculos realizados na caracterização do tráfego para a via em estudo.

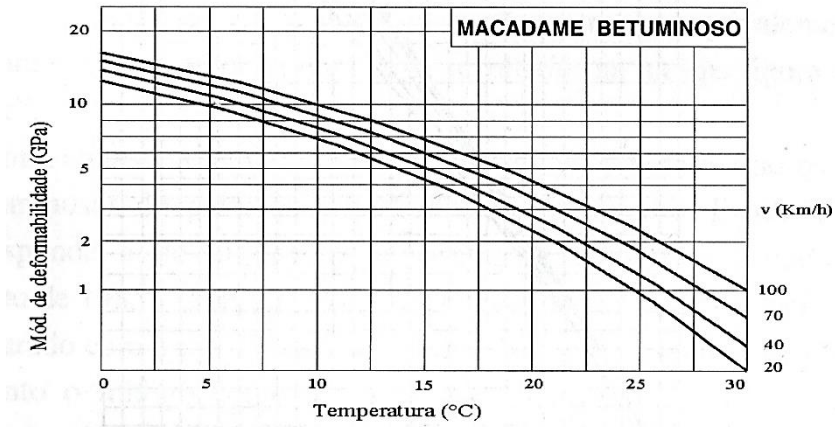
5.2.1.2. Temperaturas de serviço

As ações climáticas têm grande importância na resistência dos pavimentos, principalmente nos mais granulares e com maior percentagem de misturas betuminosas.

A temperatura do ar influencia a temperatura registada em cada camada, sendo inversamente proporcional à rigidez, ou seja, quanto maior temperatura da camada menor a rigidez da mesma. Por sua vez a água também diminui a resistência das camadas granulares e do solo de fundação.

A combinação entre as ações de tráfego e temperatura provocam perda das principais características no desempenho do pavimento para que foram dimensionados.

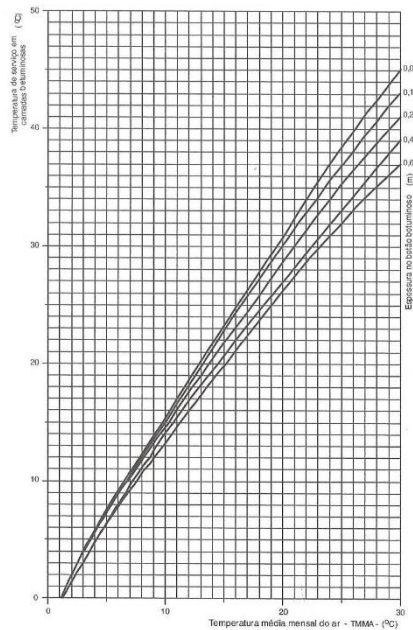
A temperatura de serviço é a utilizada para a determinação do módulo de deformabilidade da mistura betuminosa, devendo a evolução da mesma ser conhecida, Figura 36, uma vez que as camadas betuminosas são determinantes no comportamento dos pavimentos flexíveis.



Fonte: Pavimentos Rodoviários

Figura 36 – Variação do módulo de deformabilidade de misturas betuminosas

Para o cálculo da temperatura de serviço equivalente anual foi utilizado o método da Shell, onde, pelo ábaco da Figura 37, se retiram as diferentes temperaturas relativamente às espessuras das camadas. De salientar que à espessura de cada camada, pela observação do ábaco, tem que ser sempre adicionada a espessura da camada adjacente.



Fonte: Apontamentos de PRAER (ISEP, 2014)

Figura 37 - Temperatura de serviço de camadas betuminosas (SHELL, 1997)

O método e o valor da temperatura de serviço deste trabalho serão apresentados posteriormente, aquando do dimensionamento das restantes características do pavimento.

5.2.1.3. Módulos de deformabilidade

Na caracterização de um pavimento é necessário o conhecimento das condições “elásticas” (módulo de deformabilidade e coeficiente de Poisson) das diferentes camadas.

A caracterização mecânica da fundação do pavimento, ou seja o módulo de deformabilidade da fundação (E_f), em solos de alguma coesão (com CBR entre 2 a 12%) pode ser determinada pela expressão de Powell et al. 1984 [8]:

$$E_f = 17,6 \times CBR^{0,64} \quad (20)$$

em que:

E_f – Módulo de solo de fundação, em MPa;

CBR – California Bearing Ratio (%).

De forma simplificada, sugere-se, que o módulo de deformabilidade das camadas granulares dos pavimentos (sub-bases ou bases) possa ser determinado em função do módulo de deformabilidade da fundação, de acordo com a expressão proposta por Claessen et al., 1997:

$$E_s = E_f \times (0,2 \times h_s^{0,45}) \quad (21)$$

em que:

E_s – Módulo de solo de sub-base (MPa);

E_f – Módulo de solo de fundação (MPa);

h_s – espessura da camada de sub-base (mm).

No caso das misturas betuminosas a característica mais condicionante é o módulo de deformabilidade, E_m , onde para as misturas betuminosas pelo método de Shell (Bonnaune et al., 1977) para valores de rigidez do betume, S_b , a variar entre 5 MPa e 1000 MPa, são determinados pela seguinte expressão:

$$E_{mb} = 10^A \quad (22)$$

em que:

$$A = \frac{S89 + S68}{2} \times (\log(S_b) - 8) + \frac{S89 - S68}{2} \times |\log(S_b) - 8| + S_m108 \quad (23)$$

Que por sua vez se divide nas seguintes variáveis:

$$S_{89} = 1,12 \times \frac{(Sm_{3109} - Sm_{108})}{\log(30)} \quad (24)$$

$$S_{68} = 0,6 \times \log \frac{1,37 \times Vb^2 - 1}{1,33 \times Vb - 1} \quad (25)$$

$$Sm_{3109} = 10,82 - \frac{1,342 \times (100 - Va)}{Va + Vb} \quad (26)$$

$$Sm_{108} = 8 + 5,68 \times 10^{-3} \times Va + 2,135 \times 10^{-4} \times Va^2 \quad (27)$$

em que:

E_{mb} – módulo de deformabilidade das misturas betuminosas (Pa);

V_a – percentagem volumétrica do agregado (%);

V_b – percentagem volumétrica do betume (%);

$$S_b = 1,157 \times 10^{-7} \times t_c^{-0,368} \times 2,718^{-IPENr} \times (T_{AB} - T)^5 \quad (28)$$

$$t_c = \frac{1}{V} \quad (29)$$

sendo que:

S_b – rigidez do betume (MPa);

t_c – tempo de carga (s);

V – velocidade base (km/h);

$$IPENr = \frac{20 \times T_{ABr} + 500 \times \log(PEN_{25r}) - 1951,55}{T_{ABr} - 50 \times \log(PEN_{25r}) + 120,15} \quad (30)$$

$$T_{ABr} = 99,13 - 26,35 \times \log(PEN_{25r}) \quad (31)$$

$$PEN_{25r} = 0,65 \times PEN_{25} \quad (32)$$

onde:

$IPENr$ – índice de penetração revisto;

T_{ABr} – temperatura anel de bola revista (°C);

PEN_{25r} – penetração (10^{-1} mm) do betume a 25 °C revista;

PEN_{25} – penetração (10^{-1} mm) do betume a 25 °C, que também é uma medida empírica viscosidade do betume;

Todos os cálculos e componentes necessários à determinação dos diferentes módulos de deformabilidade do estudo de caso serão apresentados no próximo capítulo.

5.2.1.4. Critérios de ruína de pavimentos flexíveis

Os critérios de ruína são situações limite em relação às quais os pavimentos são analisados, tais como a extensão radial de tração, ε_t , na base das camadas betuminosas que é geralmente a mais tracionada, e a extensão vertical, ε_v , no topo do solo de fundação. [8]

Para o critério de deformação permanente, o método da Shell (Claessen et al., 1977) a relação entre extensão vertical de compressão, ε_v , no topo do solo de fundação, e a vida útil, N_{80} , é dada pela expressão:

$$\varepsilon_v = k_s \times N_{80}^{-0,25} \quad (33)$$

em que:

ε_v – extensão vertical (microns);

N_{80} – número de eixos padrão de 80 kN;

k_s – coeficiente que depende da probabilidade de sobrevivência do pavimento.

O coeficiente k_s toma o valor de $1,8 \times 10^{-2}$ para 95% de probabilidade de sobrevivência, e será este o valor adotado para a determinação da extensão vertical.

Ainda para o método da Shell, relativamente ao critério de fadiga, a extensão de tração é determinada pela seguinte expressão:

$$\varepsilon_t = (0,856 \times v_b + 1,08) \times E_{mb}^{-0,36} \times N_{80}^{-0,2} \quad (34)$$

em que:

ε_t – extensão de tração (microns);

v_b – percentagem volumétrica de betume (%);

N_{80} – número de eixos padrão de 80 kN;

E_{mb} – módulo de deformabilidade das misturas betuminosas (Pa).

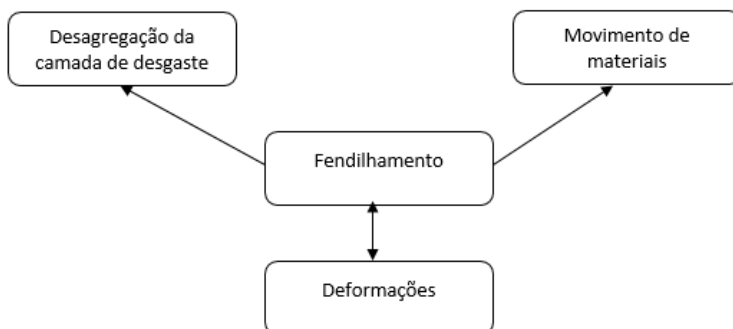
De igual forma aos restantes cálculos, os relativos aos critérios de ruína serão apresentados também no capítulo seguinte.

5.2.2. Patologias dos pavimentos

Os pavimentos rodoviários, imediatamente após a sua construção, são submetidos a esforços, que contribuem para a sua degradação e redução progressiva das características de qualidade e comodidade. [8]

Considerando os agentes influentes no comportamento de um pavimento rodoviário, tais como o tráfego, condições climáticas e materiais utilizados, a qualidade varia consoante a relação destes fatores, tornando assim este tema muito complexo.

As degradações mais comuns em pavimentos flexíveis são o aparecimento de deformações permanentes e o desenvolvimento de fendilhamento nas camadas betuminosas, porém, pode-se ainda encontrar desagregação da camada de desgaste e movimento de materiais, Figura 38. Estas degradações podem atuar separadamente ou em conjunto.



Fonte: Pavimentos Rodoviários

Figura 38 – Sequência e interação das degradações (Pereira e Miranda, 1999)

Dentro de cada família de degradações dos pavimentos flexíveis encontram-se vários tipos de degradações conforme o representado no Quadro 24.

Quadro 24 – Famílias e tipos de degradações (Pereira e Miranda, 1999)

FAMÍLIAS DE DEGRADAÇÕES	TIPOS DE DEGRADAÇÕES		
Deformações	Abatimento	Longitudinal	Berma
		Transversal	Eixo
	Deformações localizadas		
	Ondulação		
Rodeiras	Grande raio (camadas inferiores)		
	Pequeno raio (camadas superiores)		
Fendilhamento	Fendas	Fadiga	
		Longitudinais	Eixo Berma
		Transversais	
		Parabólicas	
	Pele de crocodilo	Malha fina (≤ 40 cm)	
Malha larga (> 40cm)			
Desagregação da camada de desgaste	Desagregação superficial		
	Cabeça de gato		
	Pelada		
	Ninhos (covas)		
Movimento de materiais	Exsudação		
	Subida de finos		

Fonte: Pavimentos Rodoviários

De um modo geral, as principais causas de degradação dos pavimentos são, por um lado a intensidade do tráfego e as ações climáticas (fatores ativos de degradação), por outro as deficiências dos materiais e a qualidade de execução (fatores passivos de degradação). [8]

Da observação sistemática de pavimentos em serviço e em troços experimentais, é possível obter a relação “causa-efeito” apresentada de seguida no Quadro 25.

Quadro 25 – Classificação das relações de degradações e os fatores de degradação

DEGRADAÇÕES	FATORES DE DEGRADAÇÃO									
	Condições de drenagem	Sub-dimensões da camada de desgaste	Sub-dimensões das camadas inferiores	Capacidade de suporte da fundação	Qualidade dos materiais	Deficiências de fabrico e execução	Ligação entre camada de base e de desgaste	Agressividade do tráfego	Ações climáticas	Camadas estruturais de reduzida compactade
Deformações	***	*	**	***	*	**		*	*	***
Rodeiras	***	*	**	***	**	*		**	**	***
Fendas	**	**	**	**	***	**	**	***	***	***
Fendas parabólicas	*	**			**	**	***	***	***	**
Pele de crocodilo	**	**	**	**	***	**	**	***	***	***
Pelada		***	*		**	**	***	***	**	**
Ninhos		**	*		***	***	**	**	**	***
Cabeça de gato					***	**		***	*	**
Desagregação superficial					***	***		**	***	**
Exsudação					***	**		***	***	

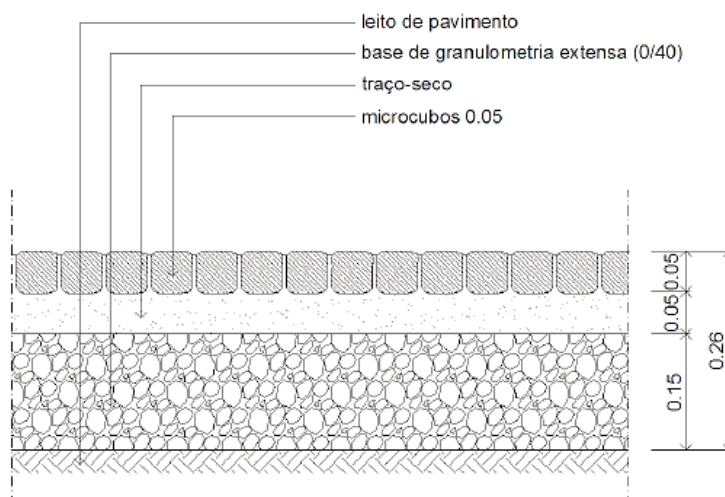
Fonte: Pavimentos Rodoviários

*** - Muito importante; ** - Importante; * - importante

5.2.3. Passeios

Os passeios inseridos neste trabalho serão dimensionados segundo o Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes [11], semi-rígidos, em microcubos de granito amarelo, típico da região em causa, dispendo das camadas representadas na Figura 39.

Mais características, como delimitações e dimensões serão descritas no seguinte capítulo.



Fonte: Apontamentos de PRAER (ISEP, 2014)

Figura 39 – Camadas constituintes de um pavimento semi-rígido

5.3. Drenagem

5.3.1. Considerações gerais

A drenagem, em vias rodoviárias, classifica-se em dois tipos: drenagem superficial e drenagem subterrânea.

O conjunto de dispositivos e estruturas hidráulicas que garantem a eliminação das águas pluviais da plataforma é designado por sistema de drenagem longitudinal. Este sistema inclui valetas, valas, sarjetas, sumidouros e coletores longitudinais.

O sistema de drenagem transversal, por sua vez, engloba estruturas hidráulicas de travessia como aquedutos, pontões e pontes, cujo objetivo é o escoamento natural dos cursos de água atravessados pela via.

Com o intuito de limitar a ocorrência de danos, como interrupção de trânsito na via, inundações, são estabelecidos três critérios funcionais: período de retorno, velocidades máximas de escoamento superficial e distância mínima entre o nível de água e a plataforma.

5.3.1.1. Período de retorno

O período de retorno pode ser definido como o intervalo de tempo que decorre, em média, para que um determinado acontecimento seja igualado ou excedido. [12]

Nos sistemas de drenagem longitudinal os períodos de retorno mínimos a adotar são os apresentados no Quadro 26.

Quadro 26 – Período de retorno mínimo em dispositivos de drenagem longitudinal

PERÍODO DE RETORNO (anos)	TIPO DE VIA	OBSERVAÇÕES
5 a 10	Estradas Regionais e Municipais complementares	-
10	Estradas Nacionais, Estradas Regionais ou Estradas Municipais com TMDA>250	-
10 a 20	IP(s), IC(s), ou outras Estradas com TMDA>2000	Recomenda-se que, no caso da opção por um período de retorno de 10 anos, seja feita, complementarmente, a verificação de que, para um período de retorno de 20 anos, não é atingido o nível da plataforma.

Fonte: Manual de drenagem superficial em vias de comunicação (IEP, 2001)

Os valores apresentados têm por base de fundação a importância da via (classificação/TMDA_p).

No presente documento o período de retorno considerado é de 5 a 10 anos uma vez que se trata de uma Estrada Municipal com TMDA_p≤250.

Segundo o *Manual de drenagem superficial em vias de comunicação* devem ser considerados três parâmetros na determinação do período de retorno para as passagens hidráulicas. É determinado um índice I ($I=P1+P2+P3$) representado no Quadro 27.

Quadro 27 – Período de retorno mínimo a adotar nas passagens hidráulicas

PERÍODO DE RETORNO (anos)	I ($I=P1+P2+P3$)
20 a 25	I = 1,5
50	I = 2,0
100	$2,0 < I \leq 4,0$
> 100 com análise económica e de risco	I > 4,0

Fonte: Manual de drenagem superficial em vias de comunicação (IEP, 2001)

Os parâmetros apresentados (P1, P2 e P3) são estabelecidos pelo Quadro 28, Quadro 29 e Quadro 30 respetivamente.

Quadro 28 – Valores de P1 (função da importância da via)

IMPORTÂNCIA DA VIA	P1
Estradas Regionais e Municipais	0,5
Estradas Nacionais, Estradas Regionais ou Estradas Municipais com TMDA>250	1
IP(s), IC(s), ou outras Estradas com TMDA>2000	1,5

Fonte: Manual de drenagem superficial em vias de comunicação (IEP, 2001)

Quadro 29 – Valores de P2 (função dos prejuízos/danos para a própria via)

EFEITOS DOS PREJUÍZOS/DANOS PARA A PRÓPRIA VIA	P2
Baixos ($\Delta t_c < 25\%$ - $h < 2m$)	0,5
Médios ($\Delta t_c < 50\%$ - $h < 5m$)	1
Elevados ($\Delta t_c \geq 50\%$ - $h < 2m$)	1,5

Fonte: Manual de drenagem superficial em vias de comunicação (IEP, 2001)

Δt_c – aumento de tempo por utilização de percurso alternativo (%);

h – altura de aterro da estrutura afetada (m).

Quadro 30 – Valores de P3 (função dos prejuízos/danos causados a 3.ºs)

EFEITOS DOS PREJUÍZOS/DANOS PARA TERCEIROS	P3
Baixos	0,5
Médios	1
Elevados	1,5

Fonte: Manual de drenagem superficial em vias de comunicação (IEP, 2001)

5.3.1.2. Velocidades máximas de escoamento superficial

De modo a evitar a erosão dos materiais que constituem as estruturas hidráulicas de transporte limitam-se as velocidades máximas de escoamento superficial.

As velocidades máximas não devem exceder os valores apresentados no Quadro 31, do qual se apresenta apenas um excerto.

Quadro 31 – Velocidades máximas de escoamento superficial

TIPO DE MATERIAL DA SECÇÃO	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)
Areia fina ou limo (pouca ou nenhuma argila)	0,20 - 0,60
(...)	(...)
Cimento ou betão	4,5 - 6,0

Fonte: Manual de drenagem superficial em vias de comunicação (IEP, 2001)

5.3.1.3. Distância mínima entre o nível de água e a plataforma

De forma a evitar, ou minimizar, as interrupções da via, a distância mínima entre o nível da água e a plataforma apresentada no *Manual de drenagem superficial em vias de comunicação* varia com o tipo de via a estudar.

Uma vez que neste trabalho se trata de uma estrada municipal e não existem passagens hidráulicas, segundo o referido manual, considera-se nula a distância mínima entre nível de água e plataforma.

5.3.2. Elementos base

5.3.2.1. Precipitação

Para determinar os caudais de projeto é essencial conhecer os dados pluviométricos do local onde será implantada a via. Esses dados, como a intensidade de precipitação média máxima, para diversos períodos de retorno e durações, podem ser obtidos a partir das curvas Intensidade-Duração-Frequência (Curvas I-D-F).

O valor da intensidade de precipitação para uma determinada duração e período de retorno pode ser determinada pela fórmula monómia ou Montana:

$$I = a \times t^b \quad (35)$$

em que:

I – intensidade média máxima da precipitação (mm/h);

t – duração (min);

a e b – parâmetros.

No Quadro 32, encontra-se um fragmento dos valores dos parâmetros a e b das curvas I-D-F para alguns postos hidrográficos nacionais.

Quadro 32 – Parâmetros a e b das curvas I-D-F

POSTOS	T (anos)	2	5	10	20	50	100
LISBOA (1860-1983)	a	202,72	259,26	290,68	317,74	349,54	365,62
	b	-0,577	-0,562	-0,549	-0,538	-0,524	-0,508
PORTO	a	209,89	268,6	303,74	334,95	372,82	399,66
	b	-0,606	-0,613	-0,617	-0,619	-0,622	-0,624
VISEU	a	377,31	460,01	500,67	532,12	565,65	586,47
	b	-0,756	-0,415	-0,754	-0,750	-0,745	-0,745

Fonte: Manual de drenagem superficial em vias de comunicação (IEP, 2001)

Os valores dos parâmetros a considerar para este trabalho serão os pressupostos para a zona de Viseu, com um período de retorno de 10 anos, de acordo com o tipo de via, neste caso estrada municipal.

5.3.2.2. Tempo de concentração

O tempo de concentração é o tempo de escoamento da água resultante da precipitação desde o ponto hidráulico mais remoto da bacia de drenagem até ao ponto em estudo. [13]

Para a determinação do tempo de concentração em casos de escoamento natural é proposta a utilização da expressão de Temez:

$$t_c = 0,3 \times \left(\frac{L}{J^{0,25}}\right)^{0,76} \quad (36)$$

em que:

t_c – tempo de concentração (horas);

L – comprimento da linha de água (km);

J – declive médio da linha de água (m/m).

Em caso de escoamento em canal de secção bem definida (passagem hidráulica do sistema de drenagem transversal) é sugerida a utilização da fórmula de Manning-Strickler:

$$V = K_s \times R_H^{2/3} \times J^{1/2} \quad (37)$$

em que:

V – velocidade de escoamento (m/s);

K_s – coeficiente de rugosidade de Manning-Strickler ($m^{1/3} \cdot s^{-1}$);

R_H – raio hidráulico (secção molhada/perímetro molhado) (m);

J – declive longitudinal (m/m).

Alguns coeficientes de rugosidade de Strickler podem ser consultados no Quadro 33, apresentado de seguida:

Quadro 33 – Valores de K_s da fórmula de Manning-Strickler

CARACTERÍSTICAS	K_s ($m^{1/3} \cdot S^{-1}$)
Paredes muito lisas em: argamassa de cimento e areia muito lisa; tábuas aplainadas; chapa metálica sem soldadura saliente.	90 a 100
Argamassa alisada	85
Paredes lisas em: reboco ordinário, tábuas com juntas mal cuidadas, grés	80
Paredes lisas em: betão liso, canais de betão com juntas frequentes, asfalto liso	75

Fonte: Manual de drenagem superficial em vias de comunicação (IEP, 2001)

5.3.2.3. Coeficiente de escoamento

O coeficiente de escoamento é a razão entre a precipitação útil (precipitação que origina o escoamento) e a precipitação total na bacia.

O coeficiente de escoamento, representado no Quadro 34, depende da percentagem das áreas impermeáveis e do tipo de ocupação do solo.

Quadro 34 – Coeficientes de escoamento (C)

ZONA RURAL	C	ZONA URBANA	C
Pavimento betão ou betuminoso	0,8-0,9	Residencial plana com 30% área impermeável	0,4
Pavimento macadame hidráulico ou bermas não pavimentadas	0,4-0,6	Residencial plana com 60% área impermeável	0,55
Terreno escalvado	0,2-0,9	Residencial em encosta suave com 30% área impermeável	0,65
Solos relvados	0,1-0,4	Residencial em encosta suave com cerca 70% área impermeável	0,8

Fonte: Apontamentos de INTRA (ISEP, 2013)

5.3.3. Dispositivos de drenagem tipo

Os sistemas de drenagem superficial rodoviária são constituídos por elementos dispostos longitudinalmente ou transversalmente em relação ao eixo do traçado, no Quadro 35 são descritos alguns exemplos dos dispositivos utilizados em sistemas de drenagem.

Quadro 35 – Dispositivos e estruturas de drenagem tipo

DISPOSITIVOS E ESTRUTURAS TIPO	TIPOS	FINALIDADE
VALETAS	- de plataformas laterais	Recolha das águas superficiais caídas sobre a plataforma e taludes de escavação
	- de plataforma em separador	Recolha das águas superficiais caídas no separador central
	- de bordadura de aterro	Evitar escoamento das águas caídas para os taludes de aterro
	- de banquetas	Recolha das águas escorridas do talude e as caídas sobre a própria banqueta
VALAS	- de crista de talude	Intercetar as águas de superfície de terrenos adjacentes para evitar a erosão do talude
	- de pé de talude	Evitar escoamento das águas da plataforma e taludes de aterro para terrenos confinantes
DISPOSITIVOS DE ENTRADA NA REDE ENTERRADA	- sumidouros	Recolha das águas da plataforma na estrutura por uma grelha metálica
	- sarjetas	Recolha das águas da plataforma na estrutura por um rasgo lateral
	- caleira/sumidouro com rasgo superior ou grelha metálica	Recolha das águas escorridas na plataforma
CÂMARAS DE VISITA	-	Permitir acesso a coletores para inspeção e limpeza
DRENOS	- dreno de rebaixamento de níveis freáticos	Rebaixamento de níveis freáticos na plataforma a cotas próximas do leito do pavimento
	- dreno de interceção	Evitar alterações hídricas dos solos de fundação do pavimento
	- écrans drenantes em elementos pré-fabricados	Permitir a captação da água de infiltração proveniente da estrutura do pavimento
	- écrans drenantes em material granular envolvido em geotêxtil	Permitir a captação da água de infiltração proveniente da estrutura do pavimento
	- drenos transversais	Evacuar para os drenos longitudinais das águas que afluem à plataforma
PASSAGENS HIDRÁULICAS	-	Permitir o escoamento das águas de um lado da via para o outro
BOCAS DE ENTRADA E SAÍDA	-	Assegurar as condições de entrada e saída dos caudais escoados através das passagens hidráulicas transversais

5.3.4. Drenagem longitudinal

5.3.4.1. Considerações gerais

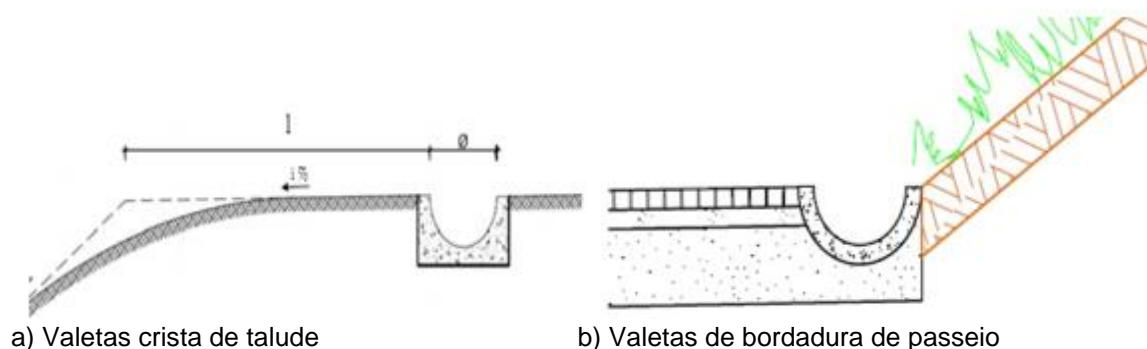
No *Manual de drenagem superficial em vias de comunicação* são definidos os objetivos principais da drenagem longitudinal, tais como:

- Assegurar a recolha e o escoamento das águas pluviais provenientes da plataforma;
- Assegurar a recolha e o escoamento das águas pluviais provenientes dos taludes evitando o seu acesso à plataforma;
- Assegurar a recolha e o escoamento das águas pluviais provenientes dos terrenos naturais a montante, evitando, quando for o caso, a possível danificação dos taludes;
- Assegurar que o escoamento se faça por forma a que as águas pluviais não contribuam para a subida de eventuais níveis freáticos existentes, quando estes, por condições naturais, puderem vir a atingir níveis próximos da plataforma.

O objetivo é garantir o rápido escoamento das águas superficiais sobre a plataforma e proteção do pavimento, assim como evitar danos no solo de fundação.

No caso deste trabalho, como se trata de uma via delimitada de passeios com guia, foram propostos sumidouros com ligação a um coletor instalado no eixo da via.

Na drenagem dos taludes de escavação foram apresentadas valetas na crista de talude e de bordadura de passeio, respetivamente representadas na Figura 40.



Fonte: Manual de drenagem superficial em vias de comunicação (IEP, 2001)
Figura 40 – Valeta de crista de talude e de bordadura de passeio

5.3.4.2. Dimensionamento de valetas e coletores

No dimensionamento dos dispositivos de drenagem longitudinal deve-se ter em conta os seguintes parâmetros:

- Cálculo do caudal afluente

Utilizando o método Racional para a determinação do caudal afluente, tem-se:

$$Q_p = \frac{C \times I \times A}{3600} \quad (38)$$

em que:

Q_p – caudal de ponta associado ao período de retorno $T^{(*)}$ (l/s);

C – coeficiente médio de escoamento da plataforma (**);

I – intensidade média máxima para uma duração de 10 minutos e o período de retorno

$T^{(*)}$ (mm/h)(***);

A – área da plataforma e taludes contribuintes (m²).

(*) – período de 10 anos;

(**) – 1,0 para drenagem da plataforma; 0,7 para drenagem lateral; 0,5 para as áreas complementares;

(***) – 10 minutos no dimensionamento de valetas e sumidouros, para coletores deve-se adicionar o tempo de percurso.

O tempo de percurso é determinado por:

$$t_p = \frac{L}{U \times 60} \quad (39)$$

em que:

t_p – tempo de percurso (minutos);

L – comprimento do coletor (m);

U – velocidade (m/s).

- Cálculo do caudal admissível na estrutura de drenagem

O caudal admissível é determinado através da fórmula de Manning-Strickler:

$$Q_a = K_s \times R_H^{2/3} \times i^{1/2} \times S \times 10^3 \quad (40)$$

em que:

Q_a – caudal admissível (l/s);

K_s – coeficiente de rugosidade de Manning-Strickler (m^{1/3}.s⁻¹);

R_H – raio hidráulico (seção molhada/perímetro molhado) (m);

i – declive longitudinal (m/m);

S – superfície molhada da seção (m²).

5.3.4.3. Dimensionamento de sumidouros

O sumidouro é um dispositivo de entrada na rede, onde a recolha de água é feita por uma grelha metálica, situada junto aos lancis, como representado na Figura 41.

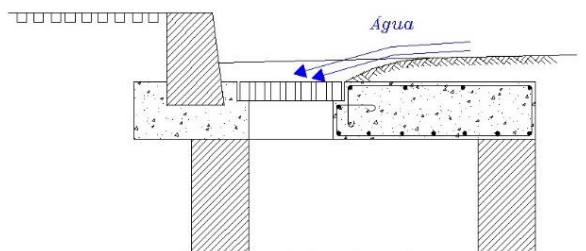


Figura 41 – Esquema de um sumidouro

Segundo o decreto regulamentar n.º 23/95 [15] para períodos de retorno de 2 a 10 anos devem ser considerados os seguintes critérios:

- Critério de não transbordamento: em que a altura máxima da lâmina de água junto ao passeio seja a altura do lancil reduzida de 2 cm de folga;
- Critério de limitação de velocidade do escoamento: de forma a evitar o desgaste do pavimento, a velocidade do escoamento deve ser limitada a 3 m/s;
- Critério de limitação da largura máxima da lâmina de água: junto aos lancis dos passeios, a largura máxima da lâmina de água a adotar é de 1 m.

5.3.5. Drenagem transversal

5.3.5.1. Considerações gerais

Da drenagem transversal fazem parte aspetos de natureza hidráulica tais como:

- Passagens hidráulicas: aquedutos e obras de arte importantes para o bom escoamento dos cursos de água atravessados;
- Coletores transversais de dispositivos de recolha, ligação e derivação: câmaras de visita, sumidouros e sarjetas, caleiras, coletores de ligação e drenos, indispensáveis à articulação com os dispositivos de drenagem longitudinal.

No que diz respeito às passagens hidráulicas e seu dimensionamento há que ter em conta os seguintes aspetos [12]:

- Avaliação dos caudais de projeto/cheia;
- Cotas dos níveis de água;

- Características do material do leito, estabilidade e proteção do leito e margens;
- Posicionamento relativo do eixo do aqueduto em relação à orientação do escoamento;
- Posicionamento dos encontros das obras de entrada e saída e graus de estrangulamento;
- Eventuais sobre-elevações da superfície livre (obstrução, transporte sólido).

5.3.5.2. Fatores de escolha dos dispositivos

De vários fatores que influenciam o tipo de dispositivo de drenagem transversal a utilizar destacam-se:

- Volume dos caudais de projeto que demarca a secção do escoamento e tipo de dispositivo;
- Coeficiente de rugosidade, coeficiente de perda de carga e geometria da secção;
- Número de condutas da travessia, condicionado pela largura do leito do curso de água;
- Diferença de cotas de projeto e a cota de fundo do leito;
- Condições geotécnicas da fundação da obra;
- Resistência das estruturas (metálicas/betão) a agentes químicos e ao choque.

A escolha da melhor solução, quer técnica, económica, ambiental e segura, deve ter em conta a relação entre todos os fatores anteriormente descritos.

5.3.5.3. Dimensionamento hidráulico

No dimensionamento hidráulico de estruturas de drenagem transversal é necessário a realização dos seguintes passos:

- Predefinir o tipo de estrutura a escolher de acordo com as condições locais;
- Verificar a capacidade de vazão dos caudais de projeto;
- Verificar compatibilidade entre altura da água a montante e alturas admissíveis;
- Controlar eventuais erosões com a aplicação de proteções a montante e a jusante.

De forma prática, para efeitos de dimensionamento, numa fase inicial dos cálculos, utilizam-se as expressões (35), (36) e (38).

Posteriormente existem outros passos a efetuar, tais como:

- Cálculo das perdas de carga:
 - Contínua – pode ser determinada pela fórmula de Manning-Strickler:

$$\Delta h_d = \left[\frac{Q^2}{K_s^2 \times R^{\frac{4}{3}} \times S^2} \right] \times L \quad (41)$$

em que:

Δh_d – perda de carga contínua (m);

L – comprimento do tubo (m).

- o Localizada – pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$\Delta h_1 = \left(\frac{0,5 \times V^2}{2 \times g} \right) + \left(\frac{V^2}{2 \times g} \right) \quad (42)$$

onde:

Δh_1 – perda de carga localizada (m);

V – velocidade média do escoamento no coletor (m/s);

g – aceleração da gravidade (m/s²).

- o Total – a perda de carga total é a soma das perdas localizadas com as contínuas:

$$\Delta h_T = \Delta h_d + \Delta h_1 \quad (43)$$

Por fim, é necessário verificar se a cota do nível da água a montante da entrada da passagem hidráulica é menor que a cota da plataforma, tendo atenção à folga mínima recomendável, consoante o tipo de tráfego.

5.4. Sinalização e Segurança

A sinalização representa, cada vez mais, um aspeto fundamental na fluidez rodoviária e segurança dos seus utilizadores. A diferença entre um troço bem sinalizado e outro que carece do mesmo rigor pode exprimir-se num aumento significativo do conforto para os peões e condutores (diminuição dos congestionamentos de tráfego, maior proximidade das passadeiras, etc.), e até na diminuição e impedimento da sinistralidade rodoviária.

Na circulação rodoviária interagem três elementos: o homem, o veículo e a via pública. À sinalização do trânsito não compete corrigir deficiências da via, de construção e/ou conceção, mas sim constituir um sistema de “comunicação” ente estrada e condutor. [16]

Este sistema constituído por mensagens escritas ou símbolos deve ser uniforme, simples e coerente.

5.4.1. Marcas rodoviárias

As intensidades de tráfego atualmente existentes e previsíveis para a rede rodoviária do nosso país justificam a importância cada vez maior que hoje se dá às marcas rodoviárias, vulgarmente designadas como sinalização horizontal, como um contributo indispensável para a melhoria da segurança rodoviária. [17]

Deste modo, as marcas rodoviárias não são mais consideradas como complemento da sinalização vertical, mas sim como um equipamento insubstituível da via, cujo custo-benefício não se pode menosprezar. [17]

5.4.1.1. Características gerais

As marcas rodoviárias devem apresentar determinadas características, no que diz respeito aos seguintes elementos:

- Cor: as marcas utilizadas devem ser sempre de cor branca, exceto as marcas reguladoras de estacionamento e paragem, de segurança, box (“caixas”, normalmente utilizadas em cruzamentos de difícil resolução de tráfego) e sinalização temporária, que são amarelas;
- Visibilidade: característica muito importante uma vez que a principal função das marcas rodoviárias é orientar a visibilidade do condutor. Deve existir um contraste bastante significativo entre a marca rodoviária e o pavimento;
- Durabilidade: dela depende a frequência necessária para efetuar operações de manutenção das marcas. A durabilidade é influenciada pelo desgaste mecânico infligida pelo tráfego;
- Aderência: as marcações rodoviárias não devem reduzir o coeficiente de atrito da superfície do pavimento. A aderência pode ser melhorada pela introdução de agregados anti-derrapantes nas marcas rodoviárias.

5.4.1.2. Tipos de marcas rodoviárias



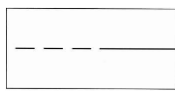
Existem os seguintes tipos de marcas rodoviárias:

- Longitudinais: linhas na faixa de rodagem com o objetivo de separar os sentidos ou vias de tráfego;
- Transversais: marcas no sentido da largura da faixa de rodagem com o objetivo de indicar locais de paragem e/ou atravessamento;

- Reguladoras do estacionamento e paragem: compostas por linhas contínuas ou descontínuas com o objetivo de regular o estacionamento e paragem dos veículos;
- Orientadoras do sentido do trânsito: constituídas por setas com o objetivo de indicar ao condutor as opções de direção;
- Marcas diversas e guias: linhas ou símbolos com a finalidade de fornecer ou complementar indicações.

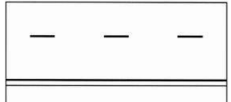
Algumas das marcas mais comuns, e utilizadas na elaboração deste trabalho, apresentando-se já o seu dimensionamento para uma velocidade de circulação de 40 Km/h, são as apresentadas, por tipo, nos seguintes quadros:

Quadro 36 – Marcas rodoviárias longitudinais comuns

LINHAS	NOMENCLATURA	NOM. PROJETO	LARGURA	TRAÇO	ESPAÇAMENTO
CONTÍNUA	M1	LBC	0,10	-	-
					
DESCONTÍNUA	M2	LBT	0,10	3,0	4,0
					
DESCONTÍNUA DE AVISO	M4	LBTa	0,10	2,5	1,0
					

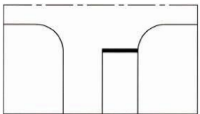
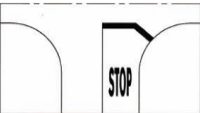
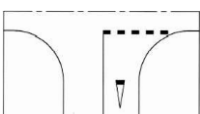

Fonte: Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária (CCDRN, 2008)

Quadro 37 – Marcas rodoviárias reguladoras de estacionamento e paragem

CONTÍNUA JUNTO AO LIMITE DA FAIXA DE RODAGEM	M12	LAC	0,12	-	-
					










Fonte: Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária (CCDRN, 2008)

Quadro 38 – Marcas rodoviárias transversais comuns

BARRA DE PARAGEM STOP	M8a	-	Barra com 0,50 m de largura perpendicular à via		
					
BARRA DE PARAGEM STOP	M8a	-	Barra com 0,50 m de largura perpendicular à via		
					
CEDÊNCIA DE PASSAGEM (COM TRIÂNGULO)	M9a	LBTc	0,30	0,40	0,30
					
PASSADEIRA DE PEÕES (COMPRIMENTO IGUAL A 3 M)	M11	-	Barras com 0,50 m de largura, paralelas ao eixo da via afastadas entre si de 0,50 m		
					

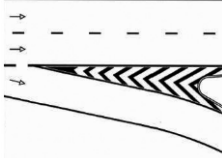
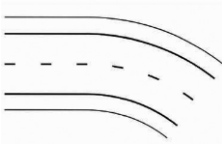

Fonte: Manual de Planejamento das Acessibilidades e da Gestão Viária (CCDRN, 2008)

Quadro 39 – Marcas rodoviárias orientadoras do sentido de trânsito

SETAS DE SELEÇÃO	M15	-	
	M15a	-	
	M15b	-	
	M15c	-	
	M15d	-	
	M15e	-	
SETAS DE DESVIO	M16	Tipo 1	
	M16a	Tipo 1	
	M16b	Tipo 2	

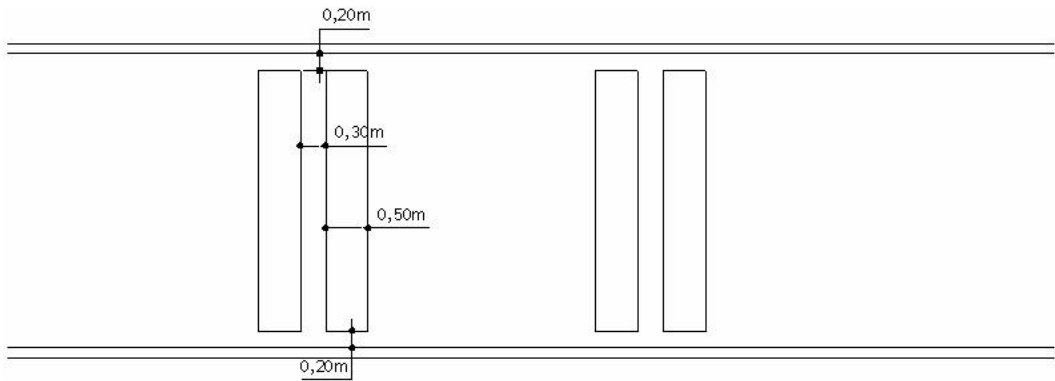
Fonte: Manual de Planejamento das Acessibilidades e da Gestão Viária (CCDRN, 2008)

Quadro 40 – Marcas rodoviárias diversas e guias

RAIAS OBLÍQUAS DELIMITADAS POR UMA LINHA CONTÍNUA	M17a	-	Barras com 0,30 m afastadas de 1m (c=0,25)		
					
GUIAS	M19	G	0,12	-	-
					
BANDAS CROMÁTICAS	M20	-			

Fonte: Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária (CCDRN, 2008)

Em relação às bandas cromáticas estas devem ter as seguintes dimensões, Figura 42, sendo para locais de paragem a sequência de espaçamento entre barras de 4 – 4 – 4 – 4 - 6 – 8 – 10 – 12 – 14 – 16 – 18 (m), e para locais de cedência a sequência de 6 – 6 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 13 – 14 (m).



Fonte: Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária (CCDRN, 2008)

Figura 42 – Dimensões da banda cromática

Diversas marcas rodoviárias serão apresentadas em anexo para que se possam consultar as dimensões regulamentares.

5.4.2. Sinalização vertical

A sinalização vertical é constituída por sinais ou painéis de sinalização que devido à sua localização, forma, cor, tipo e ainda através de símbolos e/ou caracteres alfanuméricos, transmitem aos condutores uma mensagem visual com um determinado significado. [16]

5.4.2.1. Características gerais

Segundo o Regulamento de Sinalização do Trânsito (RST) os sinais verticais devem garantir certas características como:

- Dimensões: os sinais designados “de código”, constituídos por uma só placa (abrangendo sinais de perigo, regulamentação e os de informação), podem tomar quatro dimensões nominais (grande, normal de 90cm, normal de 70 cm e reduzida de 60 cm), podendo verificar-se algumas das dimensões no Quadro 41, Quadro 42 e Quadro 43; [16]
- Cores: as cores utilizadas nos sinais verticais devem apresentar, de acordo com o RST, as coordenadas cromáticas que constam no *Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária (CCDRN) – Sinalização Rodoviária* (Quadro 24 e 25, do referido manual), correspondentes respetivamente a sinais não retrorrefletores e retrorrefletores, e respeitar os fatores de luminância aí indicados; [16]
- Caracteres: dos caracteres usados nos sinais verticais fazem parte o abecedário maiúsculo e minúsculo, e caracteres numéricos.

5.4.2.2. Tipos de sinalização vertical

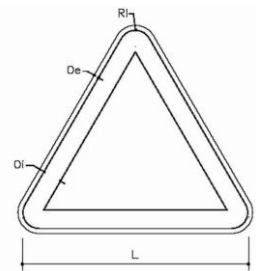
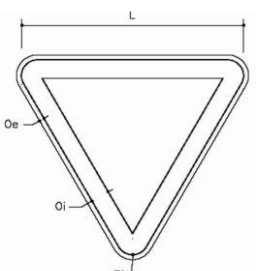
O sistema de sinalização vertical, segundo o RST, é formado por:

- Sinais de perigo: indicam a existência ou possibilidade de condições perigosas para o trânsito;
- Sinais de regulamentação: transmitem aos utentes obrigações, restrições ou proibições. Nesta categoria inserem-se os sinais de cedência de passagem, sinais de obrigação, e sinais de prescrição específica como seleção e afetação de via, e sinais de zona;
- Sinais de indicação: destinados a fornecer indicações úteis aos condutores. Neles incluem-se os sinais de informação, de pré-sinalização, direção, confirmação, complementares e painéis adicionais;
- Sinalização de mensagem variável: informa os utentes de perigo para o trânsito, assim como obrigações, proibições, ou indicações uteis;

- Sinalização turística-cultural: fornecem indicações sobre locais, imóveis, ou outros motivos de relevância cultural, histórica e paisagística.

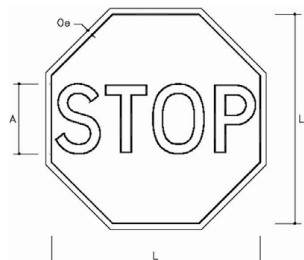
Alguns dos sinais verticais mais comuns, e utilizados na elaboração deste trabalho, de acordo com as regras de implantação descritas no *Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária (CCDRN) – Sinalização Rodoviária*, apresentados por forma geométrica, são:

Quadro 41 – Sinalização triangular

ESQUEMA	DIMENSÕES (mm)	
	Normal	
	L	900,0
	Oe	20,0
	Oi	75,0
	Ri	64,3
	L	900,0
	Oe	20,0
	Oi	75,0
	Ri	64,3

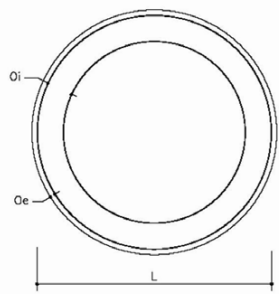
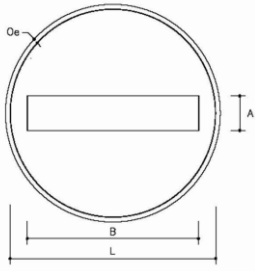
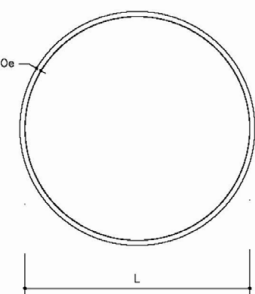
Fonte: Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária (CCDRN, 2008)

Quadro 42 – Sinalização octagonal

	L	900,0
	Oe	20,0
	A	300,0

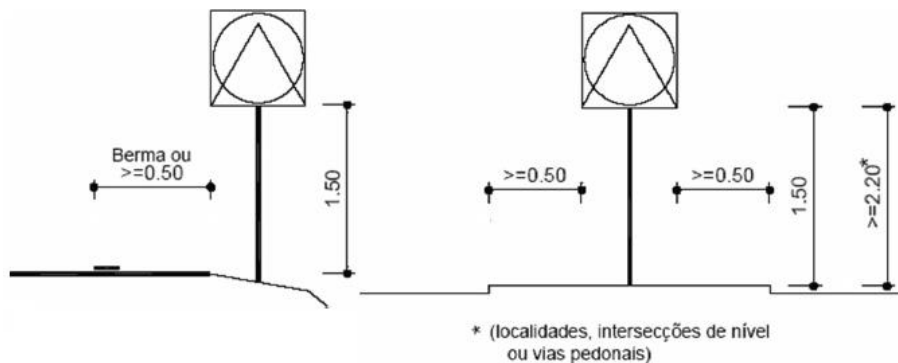
Fonte: Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária (CCDRN, 2008)

Quadro 43 – Sinalização circular

	L	900,0
	Oe	20,0
	Oi	90,0
	L	900,0
	Oe	20,0
	A	150,0
	B	750,0
	L	900,0
	Oe	20,0

Fonte: Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária (CCDRN, 2008)

Para a colocação dos sinais verticais deve-se respeitar uma altura, medida a partir do ponto mais alto do pavimento, de 1,50 m (dentro de localidades), conforme disposição esquematizada na Figura 43.



Fonte: Sinalização Rodoviária (CCDRN, 2008)

Figura 43 – Disposição regulamentar sinalização vertical - Secção corrente/ Ilhas ou separadores materializados

Juntamente com as representações das marcas rodoviárias serão representadas as dimensões regulamentares da sinalização vertical.

5.4.3. Sinalização temporária

A sinalização temporária destina-se a identificar a presença de condicionantes que afetam a circulação normal na via pública, nomeadamente obras e acidentes, indicando aos condutores os procedimentos a adotar.

5.4.3.1. Princípios de utilização

Para garantir a homogeneidade e uniformidade, a sinalização temporária deve observar alguns princípios. Esta sinalização deve ser:

- Criteriosa: deve existir uma escolha cuidada dos sinais a utilizar;
- Bem adaptada: consoante tipo de estrada, tipo de anomalia, duração e importância;
- Coerente: não deve existir contradição entre a sinalização permanente e a temporária;
- Convicente: as prescrições devem ser as necessárias e retiradas logo quando não se justifique a sua utilização;
- Legível: sinais com as mesmas dimensões e em bom estado de conservação.

Dentro da sinalização temporária podem ser utilizados:

- Sinais verticais: sinais de perigo, proibição, indicação, painéis de circulação, painéis temporários vários e painéis de desvio;
- Marcas rodoviárias: as marcas rodoviárias serão as semelhantes às utilizadas na sinalização permanente à exceção da cor, que é amarela, e das dimensões largura – traço – espaçamento;
- Dispositivos complementares: raquetas de sinalização, cones, dispositivos luminosos, baias e balizas, entre outros.

A sinalização temporária, que tem a função de avisar sobre a existência de obstáculos e alterar o comportamento dos condutores, tem o seguinte procedimento de implantação:

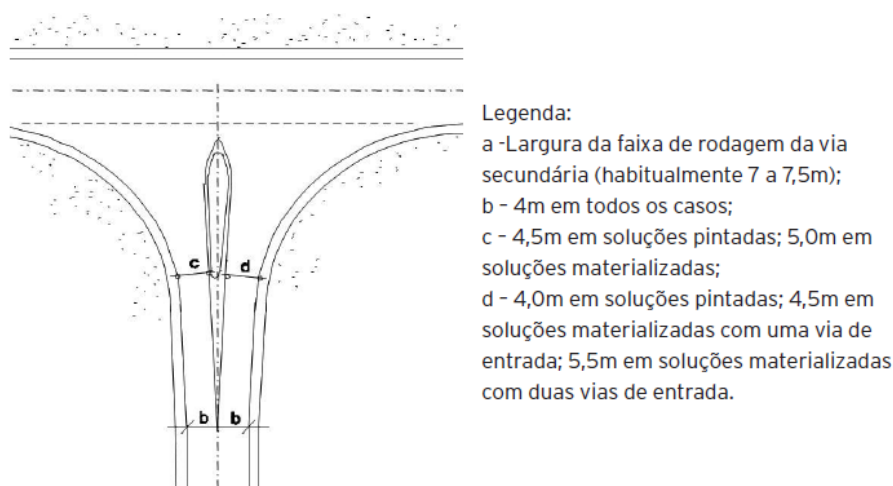
- Sinalização de aproximação: colocada antes do obstáculo;
- Sinalização de posição: delimita a zona de obras ou obstáculo de forma a proteger essa zona;
- Sinalização final: colocada imediatamente após a zona interdita, informando os condutores que voltam às condições de circulação normais.

5.5. Interseção de Nível

O traçado da estrada secundária, na zona de interseção, deve ser tal que obrigue ao abrandamento dos veículos que desejam entrar na estrada principal, e facilite as viragens dos veículos provenientes dessa estrada. [18]

A solução tipo, para a redução da velocidade do veículo, para uma estrada secundária passa pela utilização de uma ilha separadora de sentidos e por duas ilhas direcionais, sempre que a estrada secundária seja nacional ou municipal. [19]

Estes tipos de ilhas, sendo bem visíveis e projetadas, permitem ao condutor saber que se aproxima de uma interseção, Figura 44.



Fonte: Interseções Prioritárias

Figura 44 – Ilha separadora (dimensões regulamentares)

A ilha separadora tem como objetivo separar os sentidos de circulação e contribuir na melhoria da segurança. Para tal, o seu traçado deve cumprir certos parâmetros como:

- O ângulo de interseção da estrada secundária com a principal deve variar entre 80 a 120 graus;
- O comprimento da ilha depende da categoria da interseção (20 metros se a estrada secundária for nacional);
- A largura da ilha separadora depende do seu comprimento (5 metros no caso de a estrada secundária ser nacional e 3 metros caso seja municipal);
- Os raios de viragem à esquerda dependem do raio de interseção (Quadro 44);
- A largura da via de saída, da estrada secundária, deve ser de 4 metros, e a de entrada de 5 metros.

Quadro 44 – Raio das viragens à esquerda em função do ângulo da interseção

ESTRADA PRINCIPAL	ÂNGULO DA INTERSEÇÃO (grados)									
	80		90		100		110		120	
	RES	REP	RES	REP	RES	REP	RES	REP	RES	REP
2X2 vias e via de viragem à esquerda	16	24	18	22	20	20	22	18	24	16
2 vias e via de viragem à esquerda	14	22	16	20	18	18	20	16	22	14
2 vias	12	18	12	16	13	13	16	12	18	12

Fonte: Normas de Interseções, JAE (p. 42)

RES – Raio de viragem à esquerda de saída da estrada secundária

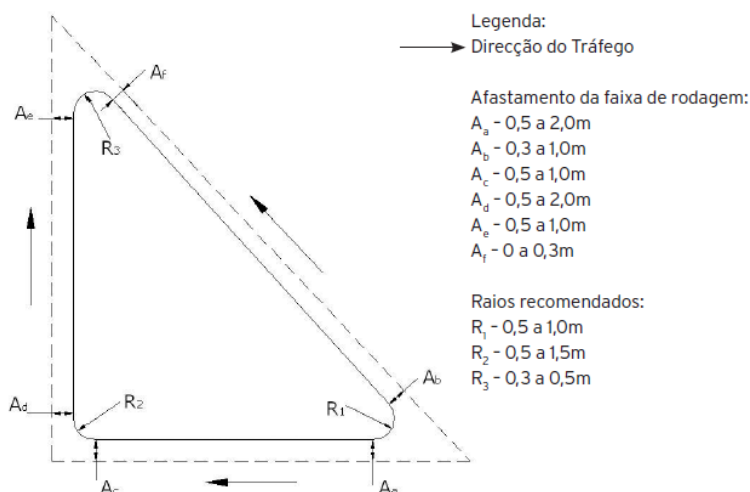
REP – Raio de viragem à esquerda de saída da estrada principal

As ilhas direcionais por sua vez apresentam as seguintes vantagens:

- Melhorar apreciavelmente a compreensão das interseções;
- Canalizar com eficácia o tráfego;
- Obrigar a diminuir a velocidade dos veículos pelo facto de o dividirem para vias individuais.

A dimensão comum das ilhas direcionais é de 6 m² de superfície, sendo a ideal de 9 m², e o lado menor não deve ser inferior a 2,5 m.

A Figura 45 representa o traçado de uma ilha direcional de acordo com os princípios definidos nas Normas de Interseção (JAE). [18]



Para além das dimensões das ilhas (separadoras e direcionais) deve-se ter em conta o raio

Fonte: Interseções Prioritárias, CCDRN.

Figura 45 – Ilha direcional (dimensões regulamentares) das curvas de concordância da estrada principal com a secundária.

A velocidade de viragem à direita, relativamente à velocidade média do tráfego na estrada principal, é importante para a segurança da interseção. [18]

O raio mínimo correspondente aos camiões apenas será utilizado em casos de interseções com estradas municipais, Quadro 45.

Quadro 45 – Raio mínimo das curvas de viragem à direita

ÂNGULO DA INTERSEÇÃO (grados)	RAIO MÍNIMO	
	(m)	
	CAMIÕES	VEÍCULOS ARTICULADOS
80	15	20
90	15	20
100	20	25
110	20	25
120	25	30

Fonte: Normas de Interseções (JAE)

Quanto à largura das vias de viragem à direita, a medida comum é de 5,5 metros, mas em caso do raio da curva ser menor que 25 metros, a largura pode ser determinada por:

$$l = 3,5 + \left(\frac{55}{R_2}\right) \quad (44)$$

onde:

l – largura da via de viragem à direita (m);

R_2 – raio central da curva (m).

Neste trabalho, uma vez que a interseção se encontra confinada (construções existentes), e visto se tratar de uma via de menor importância, serão apresentadas duas soluções de interseções:

- Solução 1: interseção possível (não cumpre os raios apresentados nas Normas de Interseções, JAE);
- Solução 2: interseção regulamentar (cumpre os raios mínimos apresentados nas Normas de Interseções, JAE).

Esta última pode ser mais dispendiosa uma vez que será necessário maior expropriação de terrenos, assim como possível demolição de algumas estruturas existentes no local.

5.6. Intersecção Giratória

Tipo de intersecção caracterizado pela convergência de diversos ramos de sentido único ou não, numa praça central de forma geralmente circular, em torno da qual é estabelecido um sentido único de circulação, na direção inversa à dos ponteiros do relógio, considerado prioritário em relação aos fluxos de entrada. [20]

As dimensões regulamentares comuns para intersecções giratórias (exceto casos de mini-rotundas) são para o raio da ilha central de 15,0 m e larguras de entrada de 4,0 m, enquanto que para saída, a norma aconselha a utilização de larguras entre 4,0 a 5,0 m.

Na intersecção a sul foi considerada a implantação de uma rotunda do tipo normal com quatro ramos afluentes, com ilha central, entradas e saídas, ambas com ilhéus separadores, dimensionada através do C3D.

6. Estudo do Caso

6.1. Notas Introdutórias

Neste capítulo serão apresentados os passos essenciais, assim como cálculos de dimensionamento, necessários à elaboração da via em questão, aplicando os conceitos teóricos dos capítulos 3,4 e 5.

Desde o traçado inicial da via, dimensionamento de elementos geométricos, volumes de movimentos de terra, até ao dimensionamento de pavimentos e sinalização.

6.2. Traçado da Via Principal

O traçado de uma via engloba três grandes fases como o traçado em planta, o perfil longitudinal e os perfis transversais.

Cada uma destas etapas possui características geométricas próprias, não deixando como devia ser de esperar, de estarem interligadas de modo a formarem um conjunto que ofereça comodidade e segurança aos futuros utilizadores.

Para a definição do eixo da via principal foram tidas em conta as considerações da C.M.C. que após algumas sugestões forneceu um eixo para estudo.

Após verificação constatou-se que a localização do eixo seria uma solução viável e avançou-se na sua implantação, mas não antes de ser trabalhado e ajustado melhorando alguns pormenores.

Na definição do alinhamento, devido a ser um troço relativamente curto, cerca de 485 m, com bastante inclinação e uma velocidade base de 40 km/h e por se tratar de uma via urbana, optou-se por implantar curvas circulares em vez de curvas compostas, também devido às condicionantes mencionadas.

6.2.1. Traçado em planta

No traçado em planta há que ter em consideração as principais condicionantes, velocidade, características geotécnicas, topografia e meio ambiente, como anteriormente descritas.

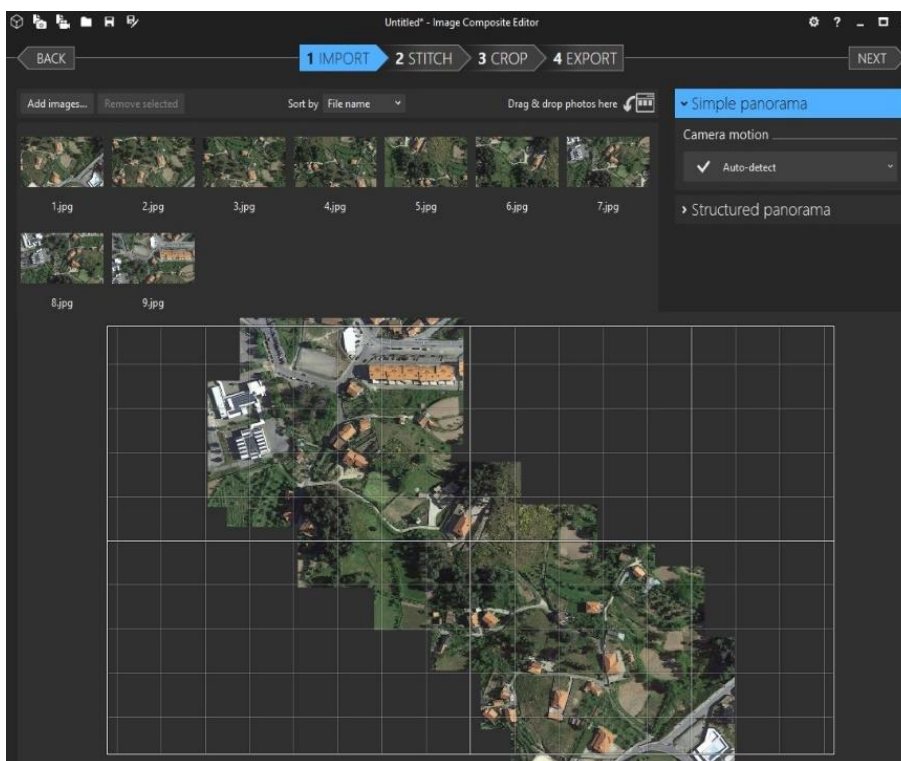
Para facilitar a compreensão da zona envolvente foi inserida uma imagem panorâmica, obtida no Microsoft ICE, através de várias fotos aéreas retiradas do Google Earth, como indica a Figura 46.



Fonte: Google Earth

Figura 46 – Ilustração utilização do software Google Earth

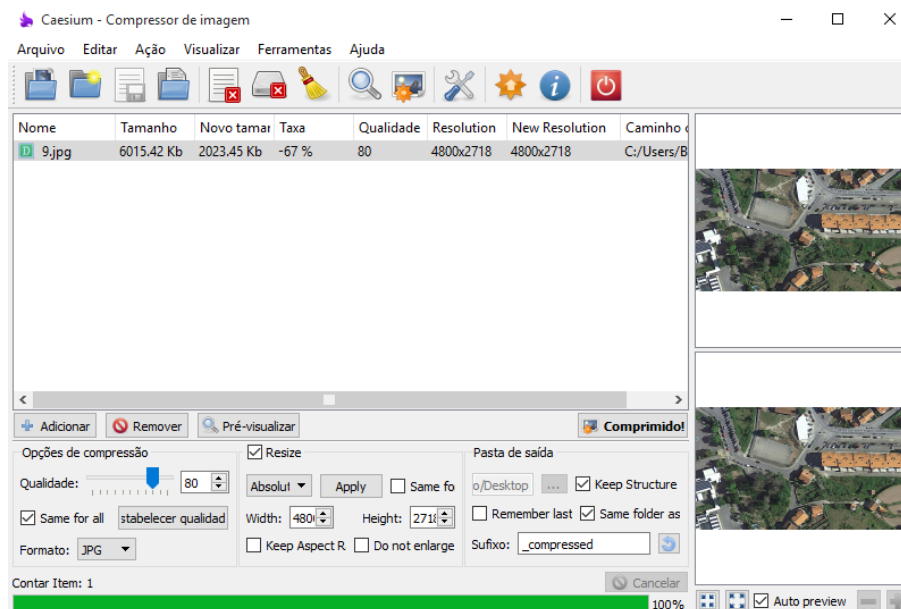
Após obter várias fotos com recurso ao Google Earth estas foram introduzidas no ICE que permite, através de um conjunto de imagens, de posições diferentes, mas mantendo sempre um ponto em comum, criar uma única imagem panorâmica como se pode ver pela Figura 47.



Fonte: ICE

Figura 47 – Ilustração utilização do software ICE

Como a imagem panorâmica tinha de ser de elevada qualidade, posteriormente utilizou-se o Caesium que permite reduzir a capacidade dos arquivos, em mais de 90 %, sem que percam qualidade, como demonstra a Figura 48.



Fonte: Caesium

Figura 48 – Ilustração do software Caesium

A imagem final foi inserida no C3D recorrendo ao comando *XREF*, e posteriormente ajustada, utilizando o comando *SCALE*, para coincidir o mais possível com o levantamento topográfico, como ilustra a Figura 49.



Fonte: C3D

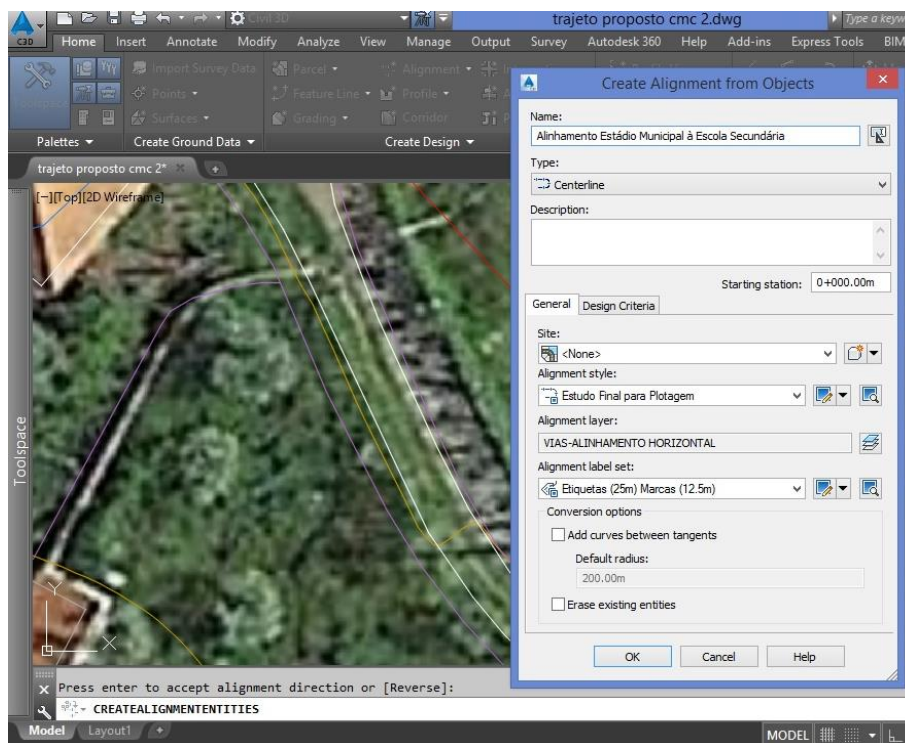
Figura 49 – Inserção da imagem no C3D

Após inserir a imagem, os primeiros fatores a considerar no traçado em planta, foram os alinhamentos retos e raios mínimos que devem respeitar os valores apresentados no Quadro 8 e Quadro 13, respetivamente.

Para tal delineou-se uma trajetória do alinhamento principal, escolhendo ponto de partida, pontos intermédios e de chegada, com recurso a uma poli-linha e através do software C3D, tratou-se o alinhamento fornecido pela C.M.C. possível de ser reconhecido por este, originando a diretriz.

Esse alinhamento foi obtido da seguinte forma no C3D: *Home > Alignment > Create Alignment from Objects*, apresentando uma janela, de acordo com a Figura 50, onde se escolheram as características do alinhamento como nome (o qual se escolheu Alinhamento Estádio Municipal à Escola Secundária) e distância entre etiquetas (12,5 em 12,5 m), entre outros elementos.

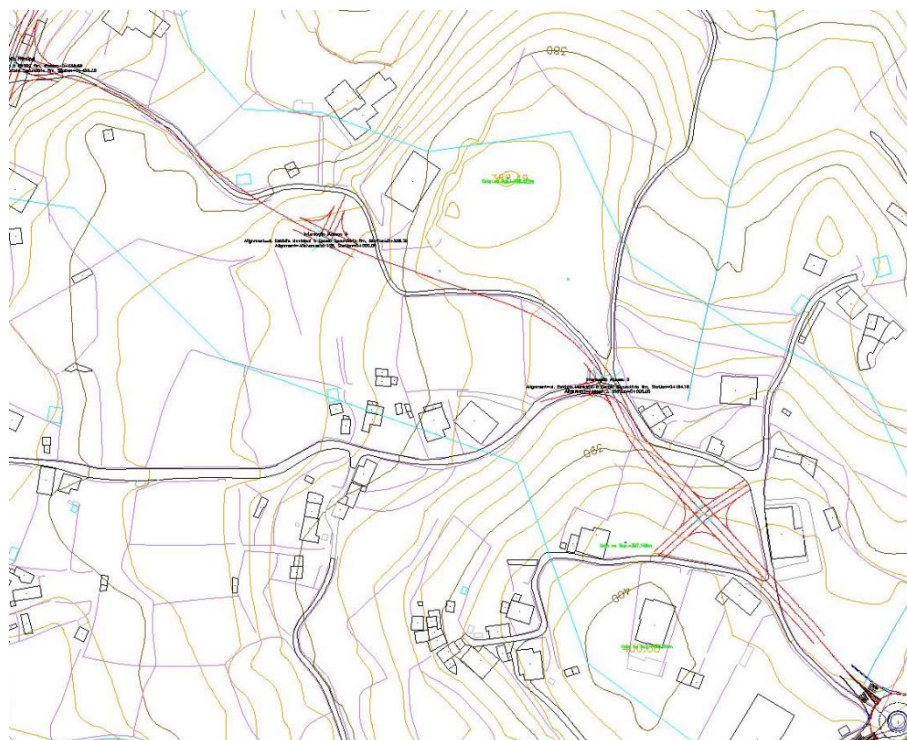
Foi escolhida uma distância relativamente pequena entre etiquetas devido a se tratar de um troço curto, possibilitando assim posteriormente a obtenção de mais dados relativos ao traçado.



Fonte: C3D

Figura 50- Criar alinhamento com recurso ao C3D

O alinhamento obtido é constituído por alinhamentos retos e curvas circulares e representado a vermelho na Figura 51.



Fonte: C3D

Figura 51 – Alinhamento da via principal

Após criação do alinhamento é possível obter algumas das características principais dos seus elementos geométricos, como raios e comprimentos, como se pode verificar no Quadro 46.

Quadro 46 – Elementos geométricos do alinhamento

No.	Type	Length	Radius	Direction	Start Station	End Station
1	Curve	40,61m	244,87m		0+000,00m	0+040,61m
2	Curve	4,78m	60,00m		0+040,61m	0+045,39m
3	Line	102,47m		352,5665 (g)	0+045,39m	0+147,86m
4	Curve	18,11m	60,00m		0+147,86m	0+165,97m
5	Line	10,43m		371,7800 (g)	0+165,97m	0+176,40m
6	Curve	63,35m	80,00m		0+176,40m	0+239,74m
7	Line	61,81m		321,3696 (g)	0+239,74m	0+301,56m
8	Curve	106,49m	250,00m		0+301,56m	0+408,04m
9	Line	4,35m		348,4868 (g)	0+408,04m	0+412,39m
10	Curve	39,47m	80,00m		0+412,39m	0+451,87m
11	Line	30,42m		317,0743 (g)	0+451,87m	0+482,29m

Fonte: C3D

O alinhamento apresentado não cumpre as condições indicadas no Quadro 8 de extensão mínima do alinhamento reto de 240,0 m para uma velocidade base de 40 km/h uma vez que o troço em questão é muito reduzido com apenas 485 m de extensão. No que diz respeito aos raios mínimos das curvas circulares preconizados no Quadro 13, todas as curvas do alinhamento cumprem o raio mínimo absoluto, e as curvas 1 e 8 cumprem o raio mínimo normal.

As curvas de transição, descritas em 4.1.6., são elementos entre os alinhamentos retos e as curvas circulares.

A mais conhecida, a clotóide, segundo a Norma, deve respeitar uma série de parâmetros:

$$\text{Condição 1: } A_1 \geq \sqrt{\frac{VR}{46,656J}} \times \left(\frac{V^2}{R} - 127(Se - i) \right) \quad (45)$$

em que :

V – velocidade (km/h);

R – raio da curva (m);

J – grau de incomodidade (m/s³);

Se – sobreelevação (%);

i – inclinação da plataforma (%).

$$\text{Condição 2: } \sqrt{\frac{Ra(Se - i)}{2 \times \Delta i_{m\acute{a}x}}} \leq A_2 \leq \sqrt{\frac{Ra(Se - i)}{2 \times \Delta i_{m\acute{i}n}}} \quad (46)$$

em que :

a – largura da faixa de rodagem (m);

Δi – variação da inclinação (%).

$$\text{Condição 3: } A_3 \geq \frac{1}{3}R \quad (47)$$

$$\text{Condição 4: } A_4 \geq \sqrt{\frac{RV}{1,8}} \quad (48)$$

$$\text{Condição 5:} \quad R\sqrt{\frac{\alpha}{3}} \leq A_5 \leq R\sqrt{\frac{\alpha}{2}} \quad (49)$$

em que:

α – ângulo da curva (radianos).

$$\text{Condição 6:} \quad A_6 \leq R\sqrt{\alpha} \quad (50)$$

Apesar de aqui se apresentar o dimensionamento das curvas de transição estas não serão utilizadas na parte desenhada, embora a sua utilização seja possível, mas por se tratar de um traçado urbano, de pequena extensão e de reduzida velocidade de circulação, não se achou necessária a sua implantação.

O Quadro 47 apresenta o dimensionamento das curvas de transição de acordo com os parâmetros anteriormente apresentados.

Quadro 47 – Parâmetros de dimensionamento da clotóide

CURVA	Raio (m)	Parâmetro A								
		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅		A ₆	Valor intervalo final	Valor adotado
1	244,87	18,54	46,94	81,62	73,77	56,03	68,62	97,05	81,62	85,00
2	60,00	46,43	23,24	20,00	36,51	9,71	11,89	16,81	46,43	50,00
3	60,00	46,43	23,24	20,00	36,51	17,90	21,92	31,01	46,43	50,00
4	80,00	44,27	26,83	26,67	42,16	38,83	47,56	67,26	47,56	50,00
5	250,00	17,14	47,43	83,33	74,54	88,62	108,54	153,50	88,62	90,00
6	80,00	44,27	26,83	26,67	42,16	30,63	37,52	53,06	44,27	45,00

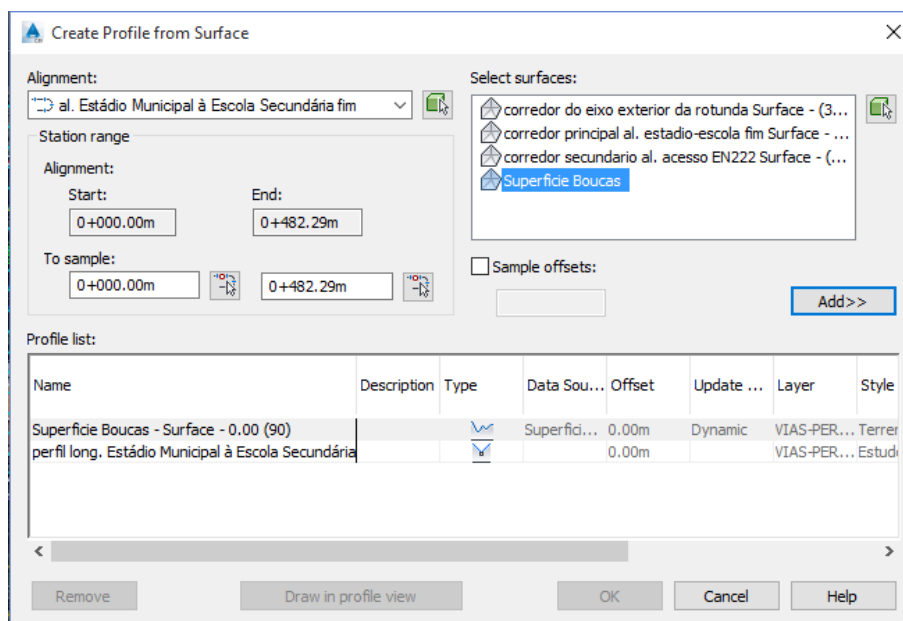
Para a elaboração do quadro anterior, para uma velocidade de 40 km/h, foram utilizados os seguintes elementos de cálculo:

- $J = 0,5 \text{ m/s}^3$;
- $\Delta i_{\text{máx}} = 1,5 \%$;
- $Se = 7 \%$;
- $i = 2,5 \%$;
- $l = 6 \text{ m}$;
- $\alpha_1 = 10^\circ$;
- $\alpha_2 = 5^\circ$;
- $\alpha_3 = 17^\circ$;
- $\alpha_4 = 45^\circ$;
- $\alpha_5 = 24^\circ$;
- $\alpha_6 = 28^\circ$.

6.2.2. Perfil longitudinal

Após o alinhamento estar definido, assim como todas as suas características geométricas, foi possível obter o perfil longitudinal.

Para a determinação do perfil longitudinal recorreu-se ao C3D da seguinte forma: *Home > Profile > Create Surface Profile*. De seguida foi necessário escolher o alinhamento e a superfície de estudo conforme indica a Figura 52.



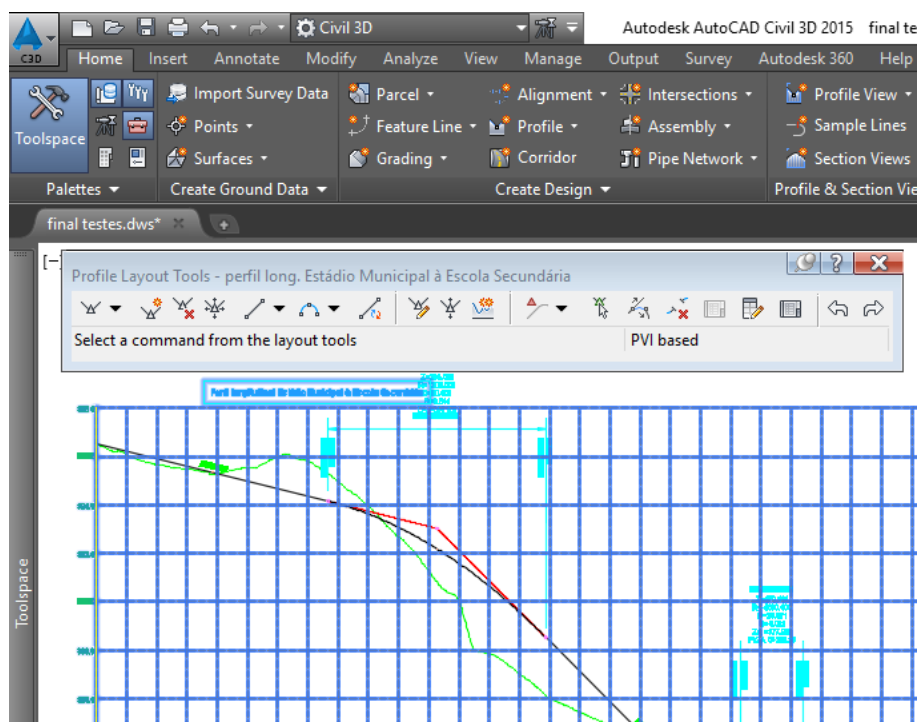
Fonte: C3D

Figura 52 – Criar Perfil Longitudinal com recurso ao C3D

Uma vez obtido o perfil longitudinal do alinhamento determinou-se a rasante de acordo com as condições regulamentares aferidas nos capítulos anteriores. Então, clicando com o botão direito do rato sobre o perfil do terreno, no perfil longitudinal, seguiram-se os seguintes passos no C3D: *Edit profile Geometry > Draw tangents without curves*.

Desta forma, tentou-se respeitar as inclinações máximas descritas no Quadro 17, inclinação máxima de 8 % para velocidades base de 40 km/h com margem de 2 % para trainéis com extensão inferior a 300 m, totalizando uma inclinação máxima de 10 % e a mínima de 0,5 %. Foram também considerados os raios mínimos das concordâncias verticais apresentados no capítulo 4, para as concordâncias convexas, Quadro19, e para as concordâncias côncavas, Quadro 20, de 1500 m e 800 m respetivamente.

A Figura 53 ilustra a criação da rasante tendo em conta os parâmetros regulamentares descritos nos capítulos anteriores, nomeadamente no subcapítulo 4.2.



Fonte: C3D

Figura 53 – Criar trainéis com recurso ao C3D

Utilizando inclusivamente a inclinação máxima regulamentar de 10% para trainéis com extensão inferior a 300 metros, que é o caso, surge a necessidade de adotar uma inclinação de cerca de 15%, como representado nos elementos geométricos, descritos no Quadro 48.

Quadro 48 – Elementos geométricos do perfil longitudinal

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	Profile Curve Type	Profile Curve Length	K Value	Curve Radius
1	0+000,00m	396,550m		-1,68%				
2	0+103,06m	394,821m	-1,68%	-8,08%	Crest	96,07m	15,00	1500,00m
3	0+279,53m	380,558m	-8,08%	-10,00%	Crest	47,94m	25,00	2500,00m
4	0+390,99m	369,412m	-10,00%	-15,36%	Crest	53,63m	10,00	1000,00m
5	0+470,56m	357,188m	-15,36%	-10,64%	Sag	9,46m	2,00	200,00m
6	0+485,28m	355,622m	-10,64%					

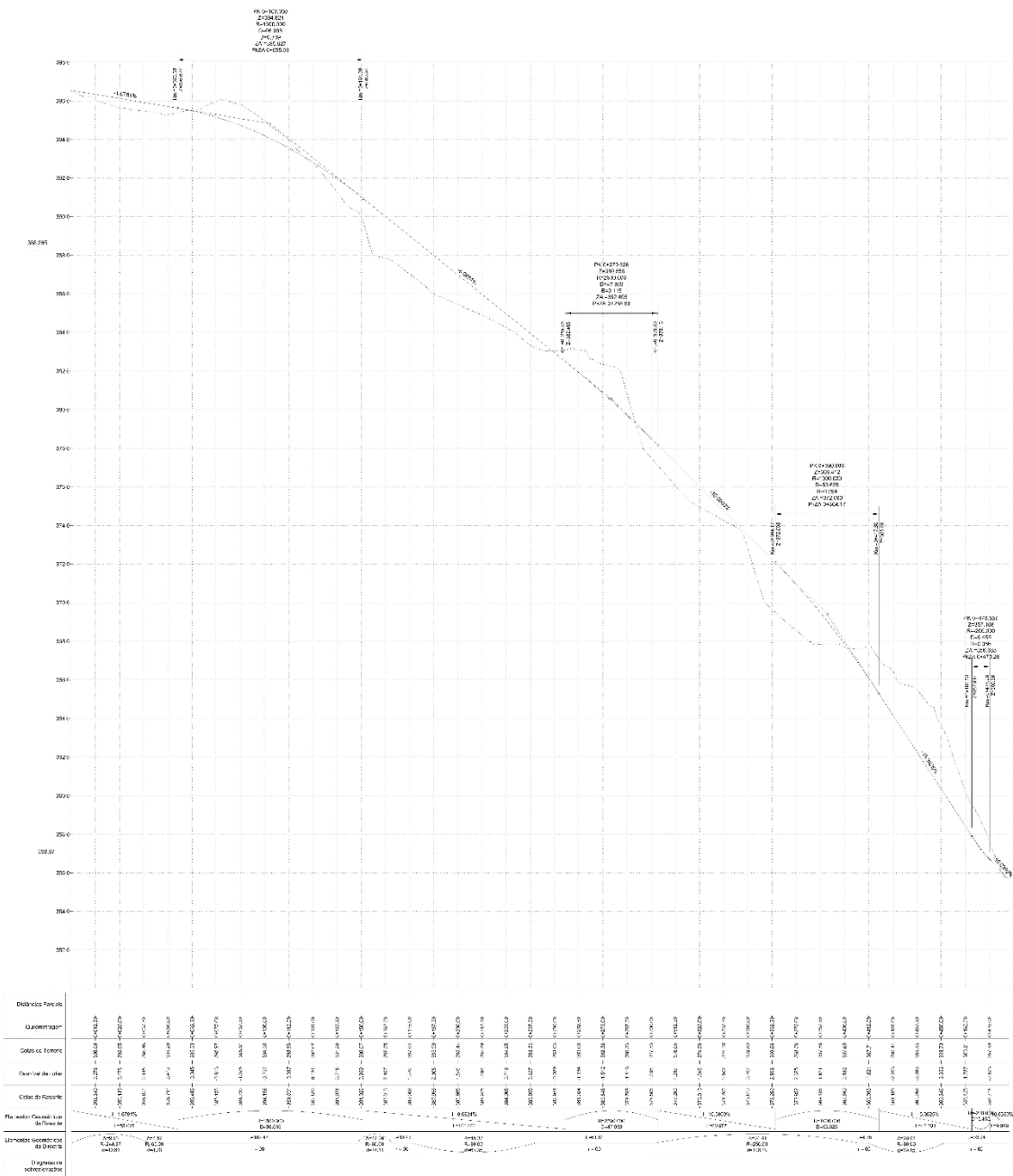
Fonte: C3D

Os valores das concordâncias convexas apresentados respeitam os valores regulamentares dispostos no Quadro 19.

A inclinação do ponto 4-5 é superior ao permitido no regulamento, mas uma vez que se trata de uma via de menor importância, com reduzida extensão e um relevo bastante acentuado não foi visto grande inconveniente na adoção dos 15 % de inclinação.

Quando necessário, é possível alterar os elementos apresentados no próprio quadro do C3D, facilitando assim as alterações das inclinações e dos raios das concordâncias.

O perfil longitudinal obtido foi o representado na Figura 54, o qual pode ser verificado com maior rigor em anexo.

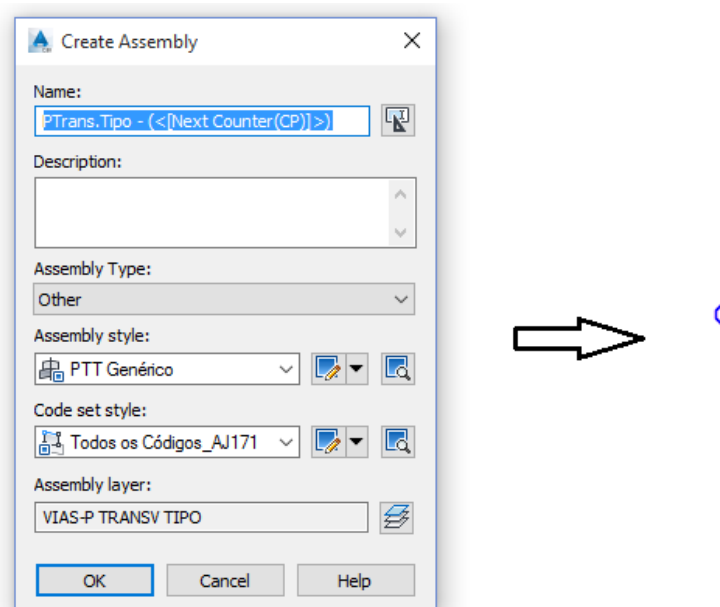


6.2.3. Perfil transversal

No dimensionamento do perfil transversal foram considerados a faixa de rodagem, passeios e taludes, considerando os parâmetros regulamentares apresentados no subcapítulo 4.3.

Para determinar o perfil transversal, assim como perfis transversais tipo, começou-se por definir um corredor para o alinhamento apresentado anteriormente, no entanto antes de criar um corredor foi necessário definir um perfil transversal tipo.

O perfil transversal tipo foi criado com recurso ao C3D da seguinte forma: *Home > Assembly > Create Assembly*. Este conjunto de comandos produziu um eixo de simetria conforme o apresentado na Figura 55.



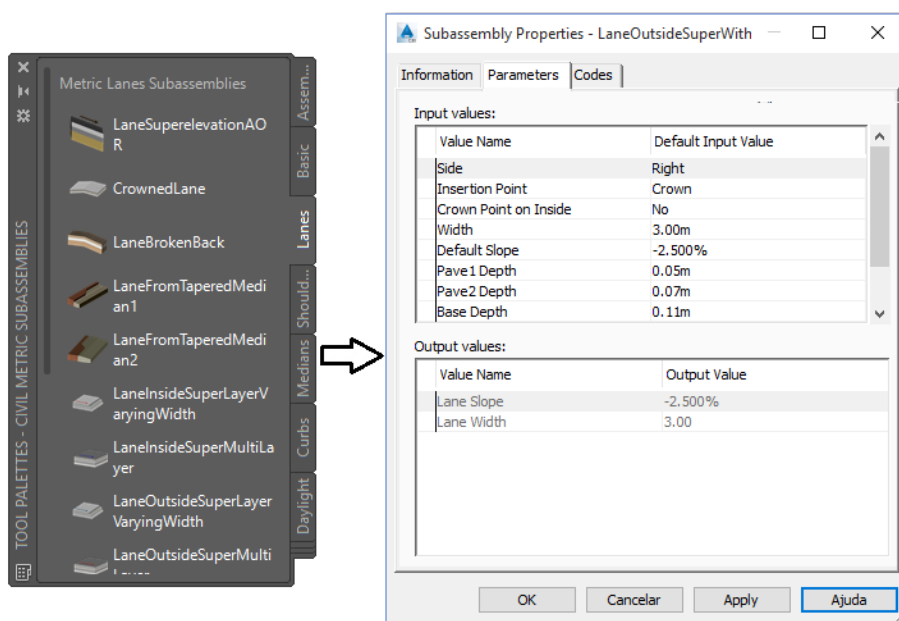
Fonte: C3D

Figura 55 – Criar perfil transversal tipo com recurso ao C3D

Eixo esse que serviu para posteriormente terminar o processo de escolha do perfil transversal tipo da seguinte forma: *Modify > Assembly > Tool Palette*.

Este último conjunto de comandos permite obter uma espécie de catálogo com os diferentes elementos possíveis de constituírem o perfil transversal tipo, como se pode verificar Figura 56.

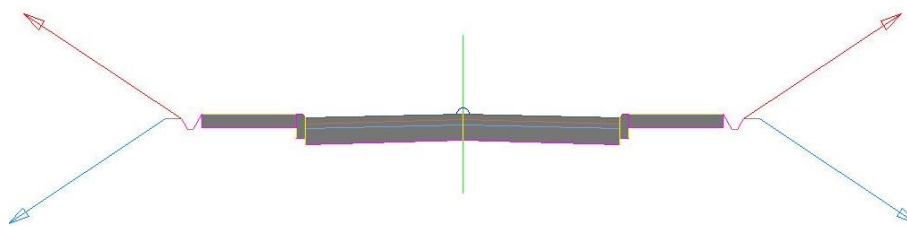
De salientar que em qualquer momento se pode alterar o elemento constituinte do perfil transversal tipo, assim como as suas características geométricas, como largura, inclinação, altura das camadas do pavimento, entre outros.



Fonte: C3D

Figura 56 – Elementos constituintes de um perfil transversal tipo (C3D)

Após definição da largura da faixa de rodagem de 6,0 m, da inclinação da plataforma de 2,5%, espessura de cada camada do pavimento (apresentadas posteriormente) e das inclinações dos taludes respeitando H:b de 2:3, e mantendo uma concordância entre o limite da plataforma e o talude de escavação de 0,60 m obtém-se o perfil transversal tipo para a via principal, como se pode ver pela Figura 57.



Fonte: C3D

Figura 57 – Perfil transversal tipo da via principal

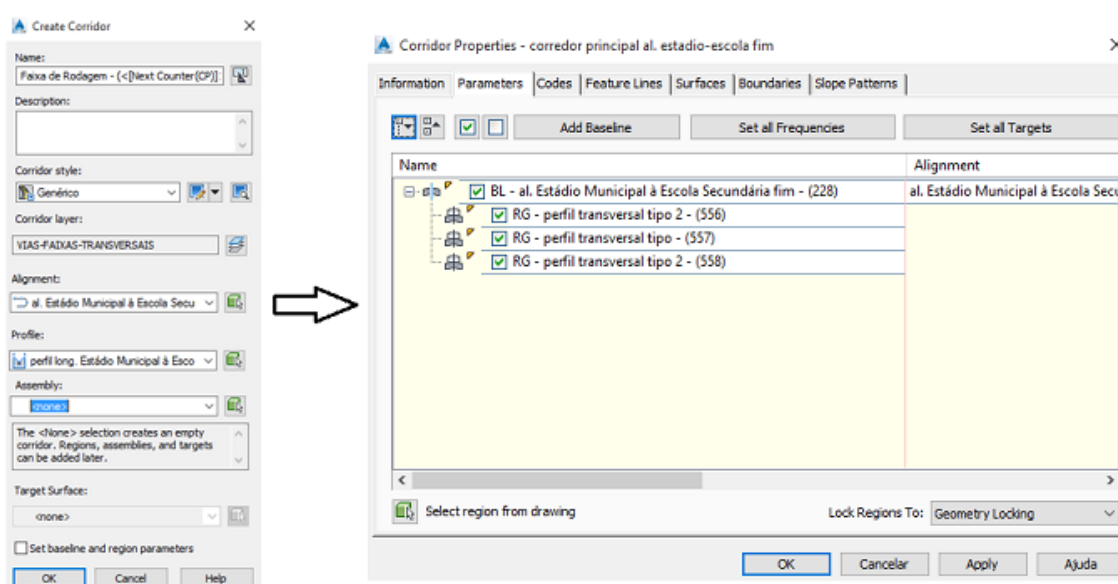
Do perfil transversal tipo fazem ainda parte as guias de separação entre plataforma rodoviária e passeio, o próprio passeio com 1,80 m de largura e um elemento de drenagem considerando uma meia-cana com $\phi = 300$ mm.

Posteriormente à definição do perfil transversal tipo (foram considerados outros, que serão apresentados em anexo) criou-se um corredor com os elementos já determinados.

Um corredor é um elemento que melhora a superfície de trabalho criando modelos 3D, usando vários elementos como perfis, superfícies, alinhamentos e subconjuntos, para ser utilizada no cálculo do volume de terras.

A criação de um corredor com recurso ao C3D foi efetuada da seguinte forma: *Home > Corridor*. Executando estes passos o software abre um janela, Figura 58, onde se devem inserir elementos como o nome desejado para o corredor, o alinhamento a utilizar (no caso de existir mais que um), perfil longitudinal e perfil transversal tipo.

Todos os elementos podem ser redimensionados, assim como é possível a alteração dos parâmetros que constituem o corredor, de forma prática como representado.

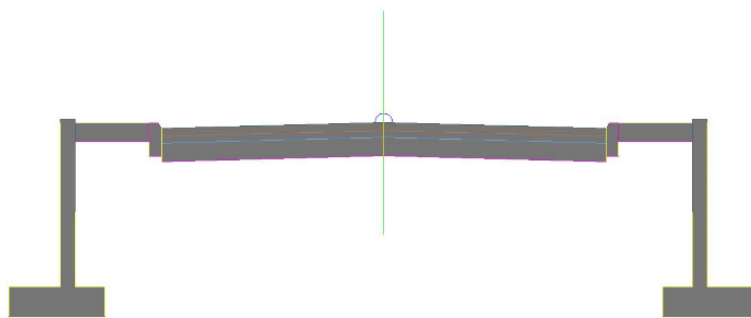


Fonte: C3D

Figura 58 – Criar um corredor com recurso ao C3D

Na figura anterior pode-se verificar que foram usados vários tipos de perfis transversais. Isto deve-se ao facto de alguns pontos do traçado existirem condicionantes como a proximidade de casas, o que implicou a adoção de perfis transversais tipo com menor largura de passeio e muros de suporte como é representado na Figura 59.

No perfil apresentado os muros de suporte foram introduzidos com a orientação de ficarem pelo menos com 5 cm de estrutura de betão a cima da cota do terreno e reduziu-se a largura dos passeios para 1,0 m devido ao ponto enunciado na Figura 11.



Fonte: C3D

Figura 59 – Perfil transversal da via principal com muros de suporte

Todo o tipo de ajuste efetuado no corredor será modificado automaticamente pelo software C3D, possibilitando desta forma o estudo de várias soluções até que se encontre a melhor possível.

O aspeto de um corredor é o apresentado de seguida na Figura 60.



Fonte: C3D

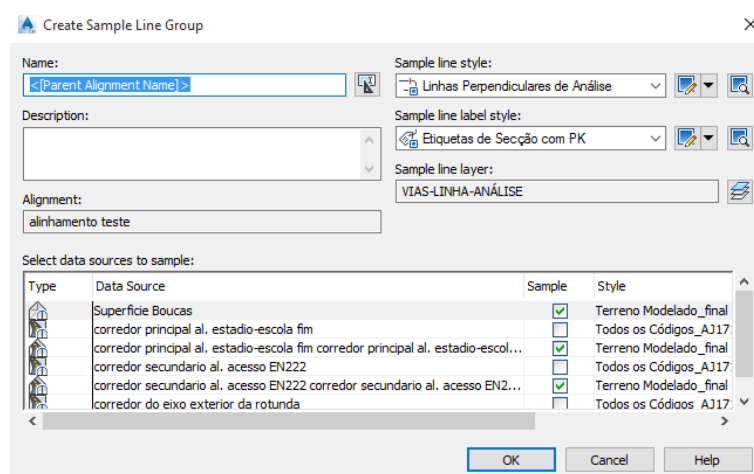
Figura 60 – Ilustração de um corredor

6.2.4. Áreas e volumes de perfis transversais

Para quantificação do movimento de terras necessário à execução da estrada, foi necessário determinar as áreas dos perfis transversais, para posteriormente proceder ao cálculo de volumes de terras.

Na determinação das áreas e volumes foi utilizado o C3D que permite de uma forma rápida e simples determinar os perfis transversais com respetivos cortes de aterro e/ou escavação, assim como elaborar quadros de movimentos de terras.

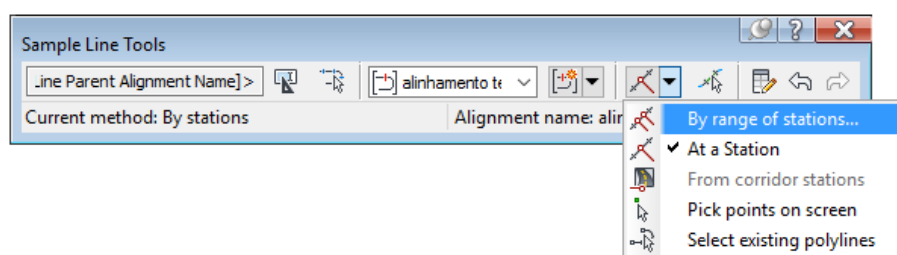
Após conceção do corredor começou-se por gerar *Sample Lines* que permitiram produzir ao longo do corredor secções espaçadas da distância desejada. A criação das *Sample Lines* foi realizada da seguinte forma no C3D: *Home > Sample Lines*. Surgiu uma janela onde foi possível inserir o nome do grupo, tipo e estilo de etiquetas e elementos a considerar para a criação das secções, conforme a Figura 61.



Fonte: C3D

Figura 61 – Criar secções com recurso ao C3D

De seguida alteraram-se as características das *Sample Lines* com o recurso aos seguintes passos: *Modify > Sample Line > Edit Sample Line*. Surgiu a janela, indicada na Figura 62, onde se selecionou *By range of stations*.



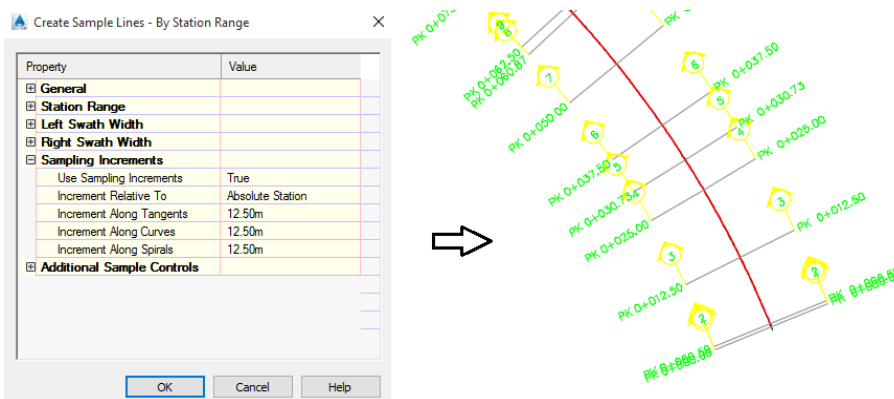
Fonte: C3D

Figura 62 – Editar Sample Lines com recurso ao C3D

A escolha deste último passo permitiu, numa janela no C3D, escolher o espaçamento entre secções de 12,5 metros, para melhor rigor e maior número de perfis transversais tipo, que

possibilitou determinar a distância ao eixo da via com que pretendia que fossem representados os cortes transversais, neste caso 10 metros para cada lado.

O resultado, apresentado na Figura 63, engloba uma série de etiquetas ao longo do eixo da via (alinhamento) que vai possibilitar a determinação das áreas e volumes de aterro.

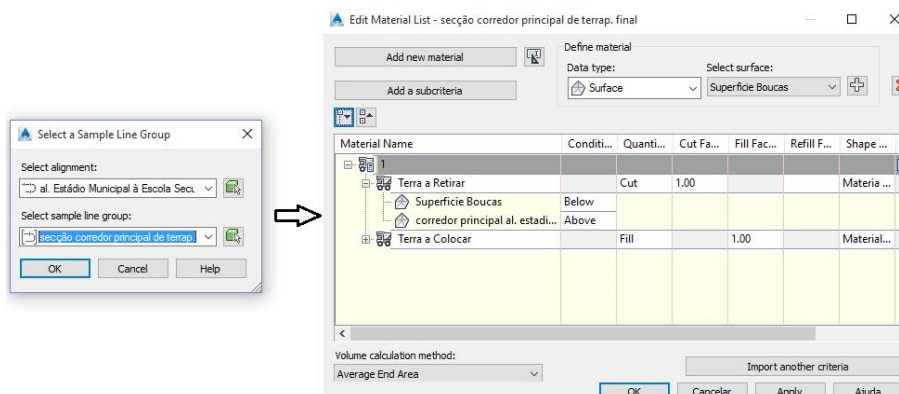


Fonte: C3D

Figura 63 – Criar etiquetas de secção com recurso ao C3D

Após definição das secções, identificou-se o tipo de material a retirar ou a colocar conforme o caso. Como não foi possível realizar testes geológicos que permitissem descobrir o tipo de material inserido no local em estudo, foi determinado um material comum que foi utilizado na determinação das áreas e volumes de terra a movimentar, como representa a Figura 64.

Tal foi efetuado da seguinte forma: *Modify > Sample Line > Compute Materials*.



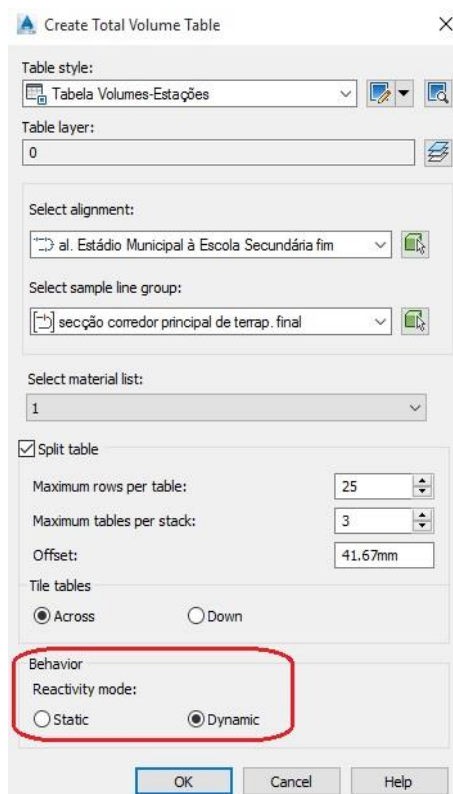
Fonte: C3D

Figura 64 – Criar lista de materiais para movimento de terras com recurso ao C3D

Neste processo selecionou-se o alinhamento e secção, assim como a superfície de estudo, para ser possível determinar as áreas e volumes de aterro e escavação ao longo da via.

Posteriormente à escolha desses elementos geraram-se os quadros de movimento de terras do seguinte modo, no C3D: *Annotate > Add Tables > Volume > Total Volume*.

A Figura 65 demonstra a janela onde se pode definir qual o alinhamento e secção a estudar, assim como as dimensões das tabelas a apresentar.



Fonte: C3D

Figura 65 – Criar tabela de volumes com recurso ao C3D

De salientar a grande importância da opção circunscrita a vermelho, uma vez que, escolhendo a opção *Dynamic*, as tabelas de movimento de terras acompanham todas as alterações feitas posteriormente no corredor da via. Caso se mantenha a opção *Static*, sempre que surjam alterações no traçado as tabelas não são atualizadas automaticamente, tornando a opção *Dynamic* importante.

Na Figura 66 apresenta-se um segmento de um quadro do movimento de terras na via principal.

Tabela de Movimento de Terras							
Estação	Área de Escavação (m2)	Área de Aterro (m2)	Volume de Escavação (m3)	Volume de Aterro (m3)	Volume Total de Escavação (m3)	Volume Total de Aterro (m3)	Volume Final
0+000.00	24.41	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+012.50	15.96	2.29	252.26	20.91	252.26	20.91	231.35
0+025.00	7.32	3.25	145.46	34.52	397.72	55.43	342.29
0+037.50	6.77	0.64	88.04	24.28	485.76	79.70	406.05
0+038.89	7.49	0.38	9.91	0.71	495.67	80.42	415.26
0+047.33	8.50	0.09	66.54	2.06	562.21	82.47	479.73
0+050.00	8.46	0.43	23.87	0.70	586.18	83.17	503.01

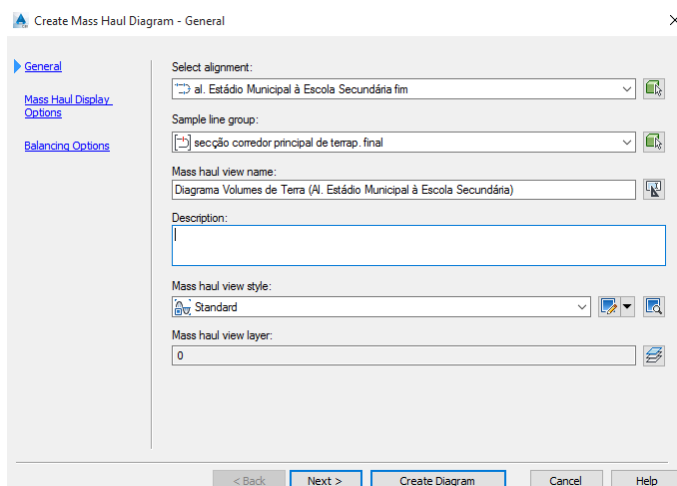
Fonte: C3D

Figura 66 – Ilustração de quadro de movimento de terras

De modo análogo foi possível determinar a curva de volumes acumulados para cada alinhamento.

Uma vez mais, recorrendo ao C3D, efetuaram-se os seguintes passos: *Modify > Section View > Create Mass Haul Diagram*.

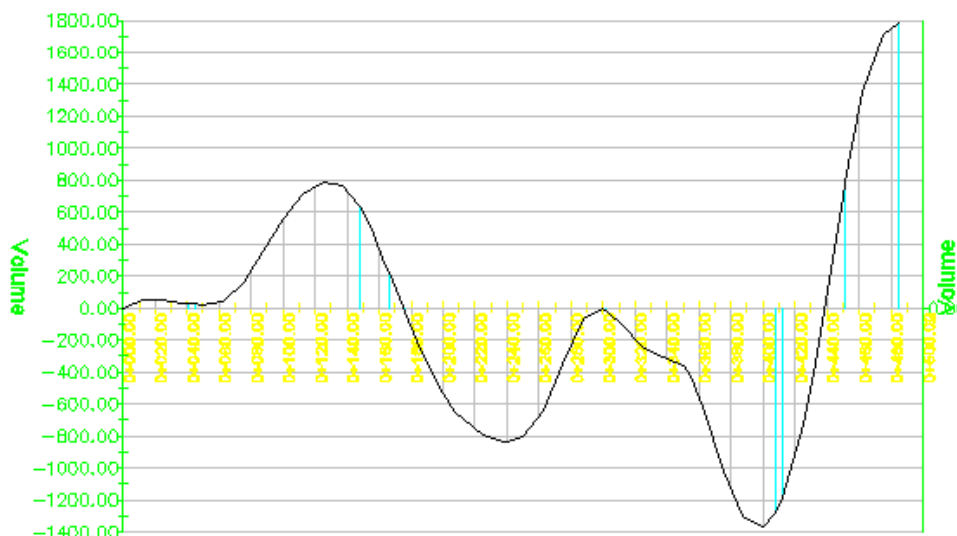
Recorrendo a este conjunto de comandos surge uma janela, Figura 67, onde se deve identificar o alinhamento a utilizar, a secção e onde se pode dar o nome ao diagrama que irá ser criado.



Fonte: C3D

Figura 67 – Criar diagrama de volumes de terra com recurso ao C3D

De seguida foi possível determinar o tipo curva a apresentar conforme os resultados pretendidos, sendo escolhida a apresentação de uma curva de volume total. O diagrama para a via principal é o apresentado na Figura 68. Estes elementos serão apresentados em anexo com melhor qualidade.

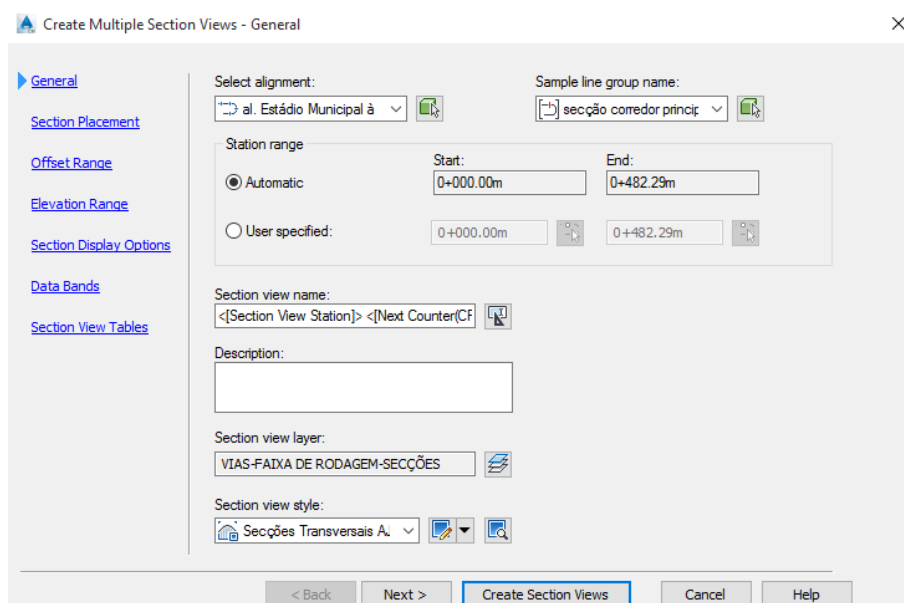


Fonte: C3D

Figura 68 – Ilustração da curva de volumes acumulados da via principal

Para finalizar, as áreas e volumes transversais, foram determinadas as secções transversais para cada alinhamento, desenvolvendo os passos por esta ordem no C3D: *Home > Section Views > Create Multiple Views*.

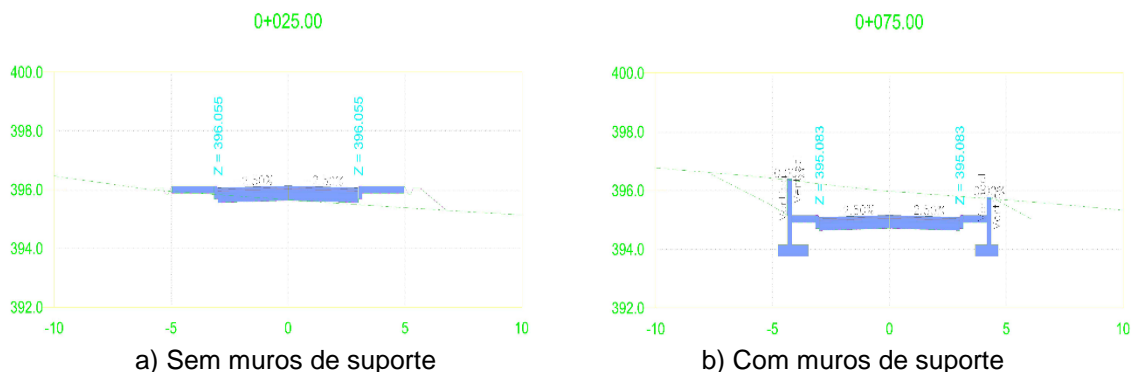
Estes comandos devolvem a janela, representada na Figura 69, onde se escolheram o alinhamento, a secção, as estações e posteriormente a superfície de estudo, assim como os corredores.



Fonte: C3D

Figura 69 – Criar secções transversais com recurso ao C3D

A Figura 70 apresenta duas das secções transversais criadas com o recurso ao C3D.



Fonte: C3D

Figura 70 – Ilustração de secções transversais da via principal

Uma vez delineado o traçado, assim como perfil longitudinal e transversal passou-se à determinação de outros elementos constituintes de um trabalho deste tipo como: interseções, dimensionamento de pavimentos, drenagem superficial, sinalização e segurança.

O trabalho efetuado até este momento é em tudo semelhante a um trabalho de vias de comunicação, mas recorrendo à utilização de um software de traçado, agilizando o desenvolvimento do mesmo.

6.3. Definição Geométrica das Interseções

Neste projeto foram considerados dois tipos de interseções. Na interseção a norte foi inserido uma interseção de nível, interseção em “T”, enquanto que a sul dotou-se por uma interseção giratória.

Foram também consideradas interseções entre a via principal e vias de acesso a habitações existentes.

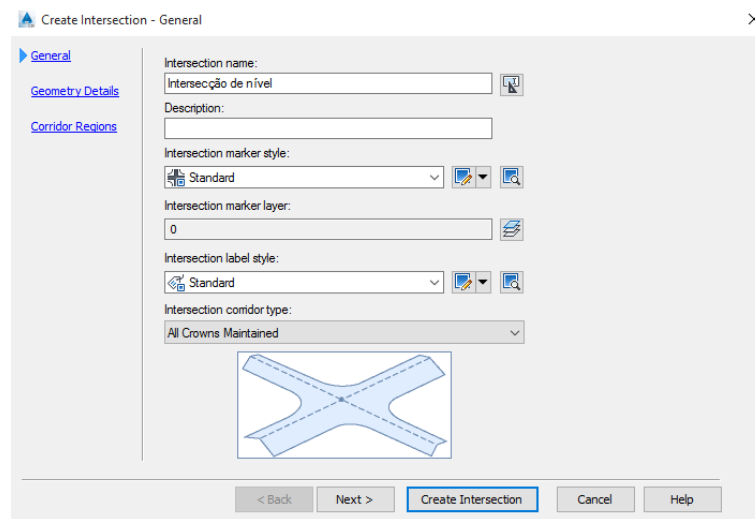
Ambas as interseções foram adicionadas com recurso ao software de desenho utilizado, o C3D.

6.3.1. Interseção de nível

Como referido, foi dimensionado uma interseção de nível “T” ou entroncamento com recurso ao software C3D.

Para tal seguiram-se os seguintes passos no C3D: *Home > Intersections > Create Intersection*. Juntamente com estes passos foi necessário identificar o centro da intersecção, que neste caso coincidiu com a intersecção dos alinhamentos apresentados.

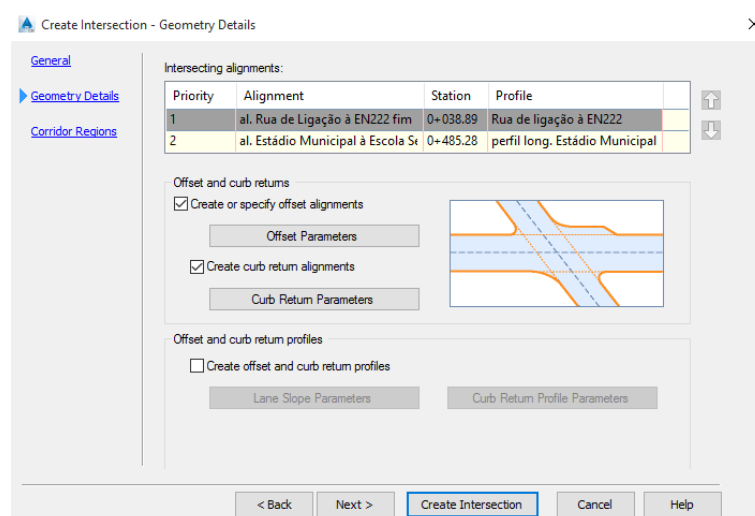
No primeiro passo começou por se definir que ambas as faixas se encontrariam ao mesmo nível, ou seja, o eixo de cada via encontra-se à mesma cota, conforme explicita a Figura 71.



Fonte: C3D

Figura 71 - Criação de intersecção ao mesmo nível (C3D)

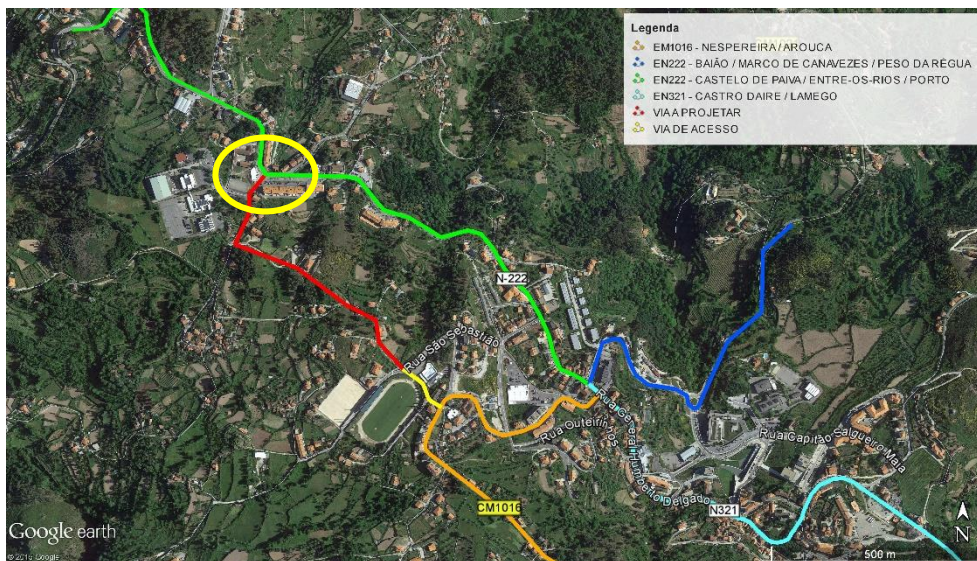
Seguidamente foi necessário identificar alguns elementos geométricos, como a via com prioridade e a via secundária, como se pode verificar pela Figura 72. Definiu-se então a via de Ligação à EN222 (Figura 7, alinhamento azul) como via prioritária, em relação à via de Ligação entre o Estádio Municipal e a Escola Secundária (Figura 7, alinhamento vermelho), uma vez que esta terá ligação direta a uma via de maior importância (em anexo será apresentado um estudo de estradas envolventes).



Fonte: C3D

Figura 72 – Definição da via prioritária na intersecção de nível

Pela Figura 73 verifica-se que a via liga a uma via de importância superior, demarcado a amarelo, tornando-a como estrada prioritária em relação à via principal.

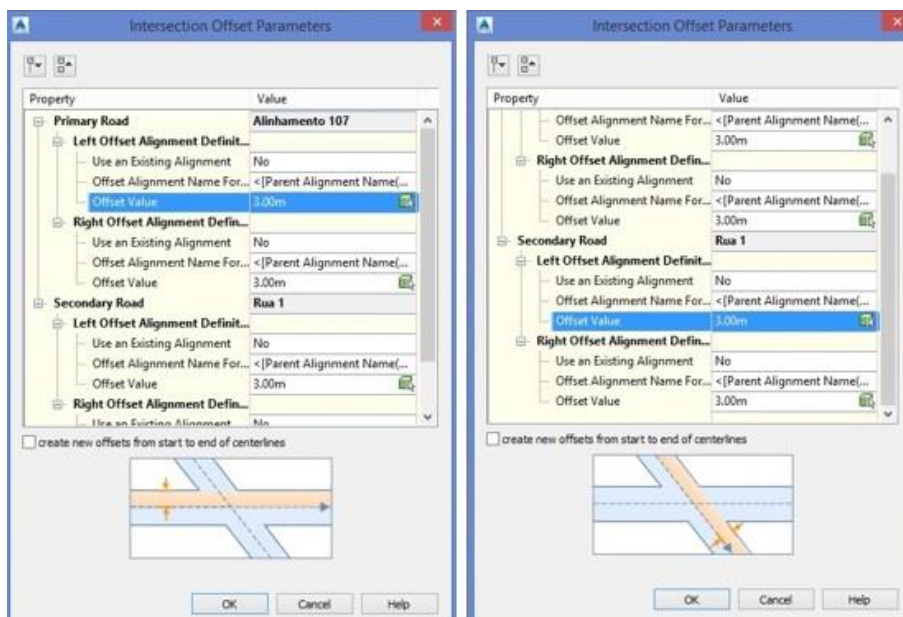


Fonte: Google Earth

Figura 73 – Estradas envolventes

Outros elementos geométricos necessários na definição da interseção foram as larguras, tanto da via prioritária como da secundária, e para tal foram adotadas larguras iguais à do restante alinhamento em ambas as vias, com um valor de 3 m à esquerda e direita do eixo da faixa de rodagem.

Estes elementos foram projetados conforme a Figura 74, recorrendo ao software C3D.



Fonte: C3D

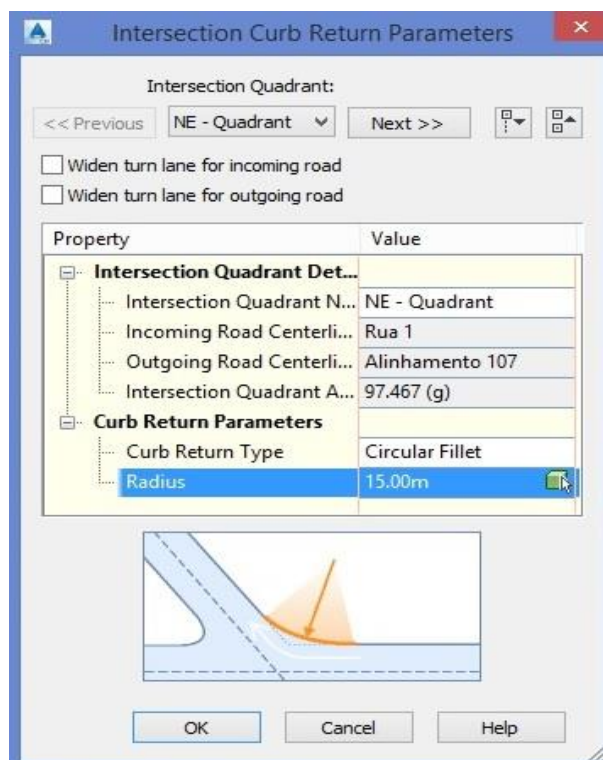
Figura 74 – Largura das faixas junto à interseção de nível (C3D)

Segundo o subcapítulo 5.5. a largura da faixa de rodagem da via secundária varia entre 7,0 a 7,5 m, sendo a largura da via à entrada da ilha separadora de 8m atingindo os 10,0 m para ilhas separadoras materializadas, ao invés de pintadas que necessitam apenas de 9,0 m de faixa.

As Normas de Interseções referem ainda que em vias com ângulo de interseção de 100 graus (é o caso da interseção em estudo) o raio mínimo de viragem à direita é de 20 m para camiões e 25 m para veículos articulados, Quadro 45.

Como a zona da interseção em estudo está condicionada por habitações, de forma a evitar expropriações maiores e por se tratar de uma via municipal com menor importância com volume de tráfego de pesados reduzido, o raio adotado para viragem à direita é de 15 m, contudo será apresentada outra solução, em anexo, em que o raio de viragem à direita adotado é de 20 m, caso a C.M.C. entenda possível a sua execução.

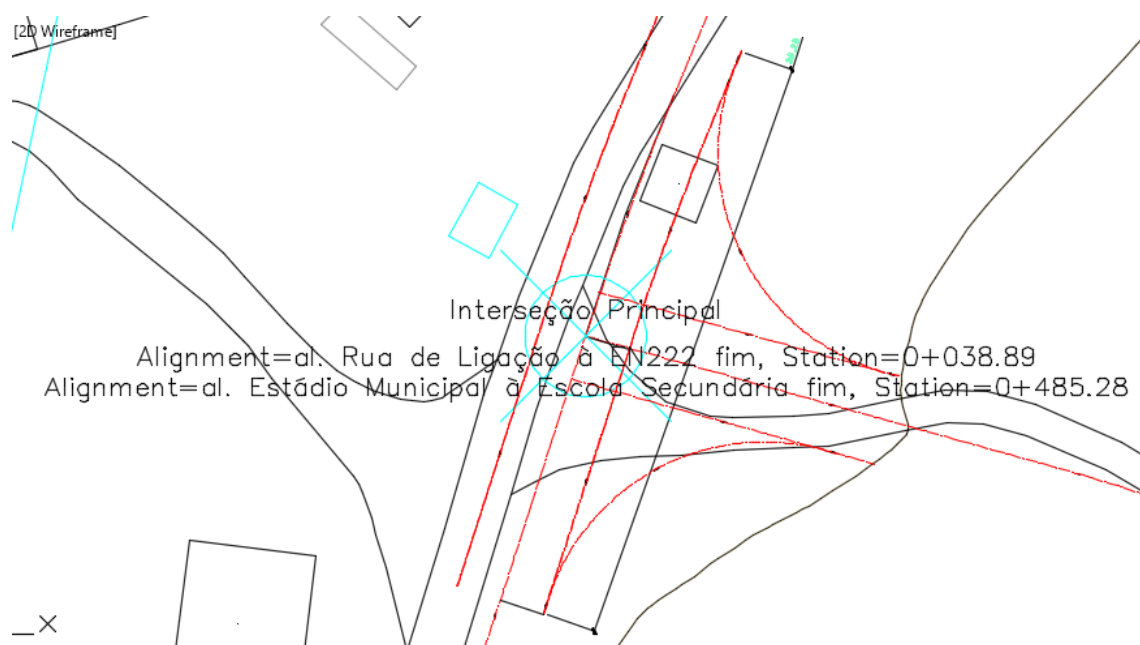
Para finalizar, como se pode ver pela Figura 75, foi então adotado um raio de 15 m de curvatura na interseção devido à falta de espaço e julga-se que poderá ser um bom compromisso.



Fonte: C3D

Figura 75 – Raio adotado na interseção de nível

O resultado final da interseção, traçado a vermelho, é o representado na Figura 76.



Fonte: C3D

Figura 76 – Interseção de nível

Ambas interseções para acessos às habitações foram modeladas de igual modo, alterando apenas alguns elementos geométricos de forma a corresponderem às necessidades e disponibilidade do terreno.

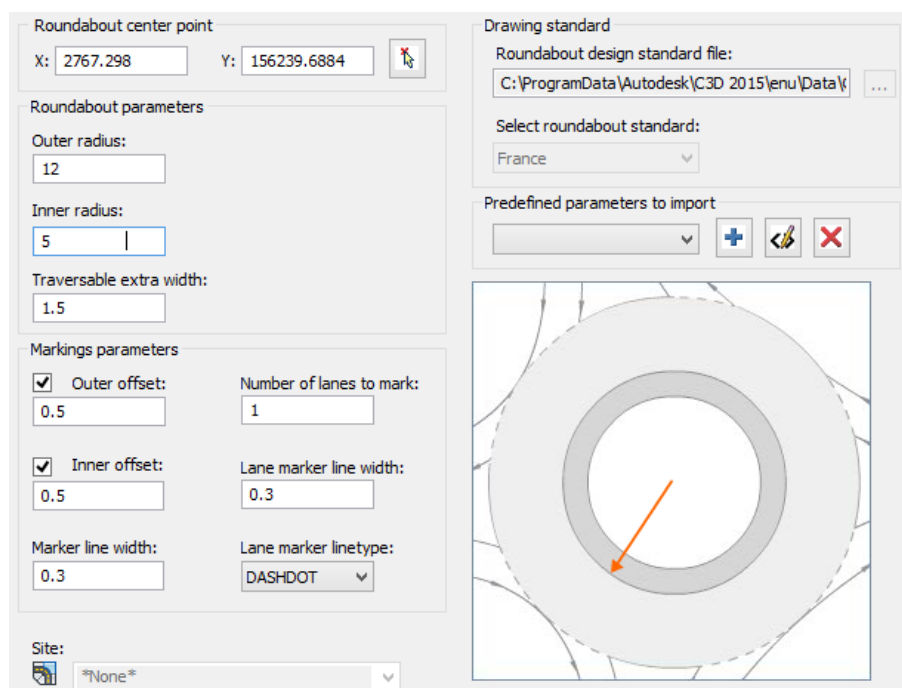
6.3.2. Interseção giratória

Na interseção a sul foi considerada a implantação de uma rotunda do tipo normal com quatro ramos afluentes, com ilha central, entradas e saídas, ambas com ilhéus separadores, dimensionada através do C3D.

6.3.2.1. Ilha central

A rotunda e todos os seus elementos constituintes foram dimensionados com recurso ao software C3D.

Posteriormente realizaram-se os seguintes passos no C3D: *Home > Intersections > Create Roundabout*, obtendo-se a Figura 77 em que se podem verificar as opções de dimensionamento.



Fonte: C3D

Figura 77 – Criar intersecção giratória

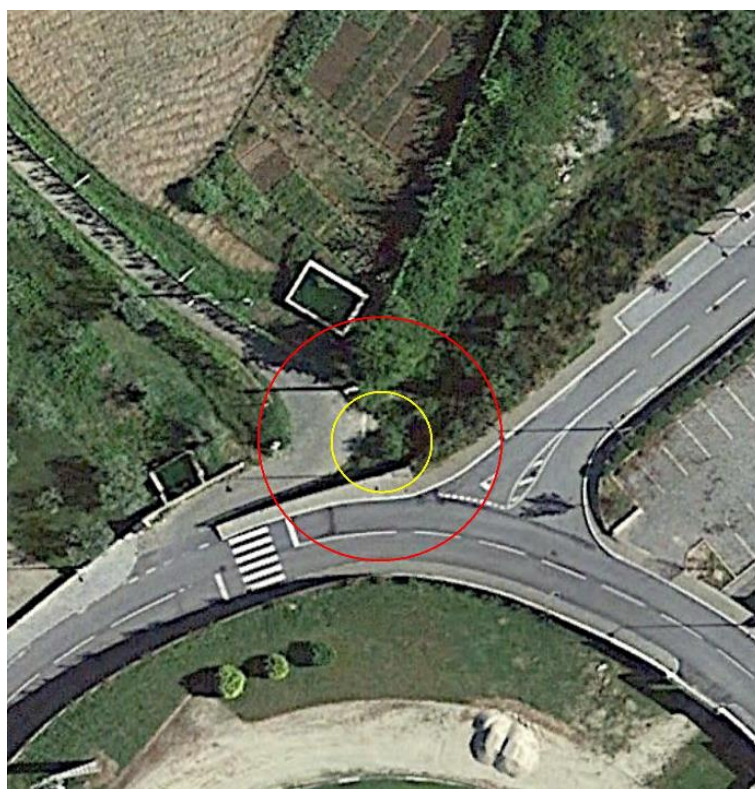
Segundo a Norma de Interseções (JAE – P5/90) [18] o raio mínimo da ilha central a adotar numa rotunda é de 15 m. Devido a se tratar de uma via municipal, ou seja, de menor importância, optou-se por dimensionar a ilha central com um raio de 5 m.

Juntamente com estes passos foi necessário identificar o centro da intersecção giratória e as vias que a iriam interseccionar, ou seja, que teriam ligação à rotunda.

Como os ramos de acesso têm apenas uma via, de forma a assegurar duas vias de tráfego na faixa de rodagem que limita a ilha central, adotou-se uma largura de 7 m para a mesma, tornando desta forma o raio exterior com 12 m.

De salientar que o baixo valor do raio da ilha central é devido ao reduzido espaço, Figura 78, que não permite a utilização de um raio regulamentar, onde a amarelo está representado o raio da ilha central e a vermelho o raio exterior.

Mais uma vez, devido a se tratar de uma via com menor importância, julga-se não haver problemas na adoção de um raio inferior ao regulamentar.

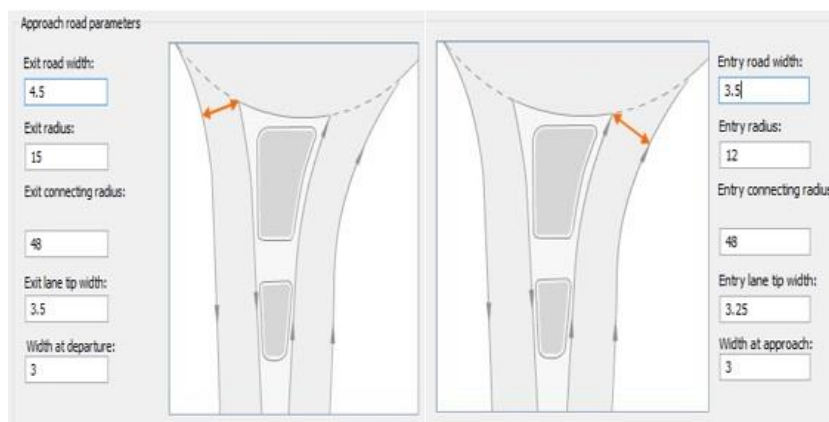


Fonte: Google Earth

Figura 78 – Área disponível para rotunda

6.3.2.2. Entradas e saídas

Todas as entradas e saídas, Figura 79, são de apenas uma via, pois por não haver grande volume de tráfego, e por se tratar de uma estrada municipal, não se justifica a utilização de mais vias.



Fonte: C3D

Figura 79 – Dimensões de saída e entrada na interseção giratória

As medidas a adotar na dimensão dos elementos de uma interseção giratória são, por vezes, valores aconselhados dependendo das características da interseção, volume de tráfego e localização.

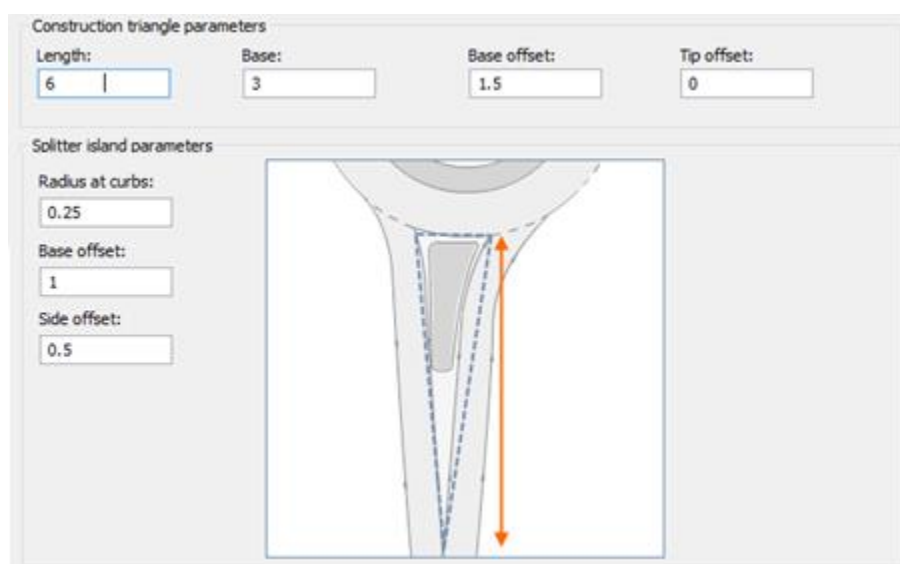
As normas aconselham então, a adoção de larguras de entrada, ou seja, de acesso à rotunda, de 4 m, para acessos com uma só via. Quanto aos valores de largura de saída, os valores aconselhados rondam os 4 a 5 m. Isto devido ao facto de se dever dar prioridade a quem sai da rotunda para que não se crie congestionamento na mesma.

Como mencionado anteriormente, por se tratar de uma estrada municipal, ou seja uma via de menor importância, adotou-se para largura de entrada 3,5 m e para saída 4,5 m.

6.3.2.3. Ilhéu separador

O ilhéu serve como separador das correntes de tráfego de entrada e saída da rotunda e deve ter uma dimensão superior a 2,5 m em cada um dos seus lados, perfazendo uma área fechada do ilhéu superior a 8 a 10 m².

O ilhéu inserido no projeto tem uma base de 3 m e comprimento de 6 m como representado na Figura 80. Foram também inseridas travessias pedonais com as dimensões regulamentares.

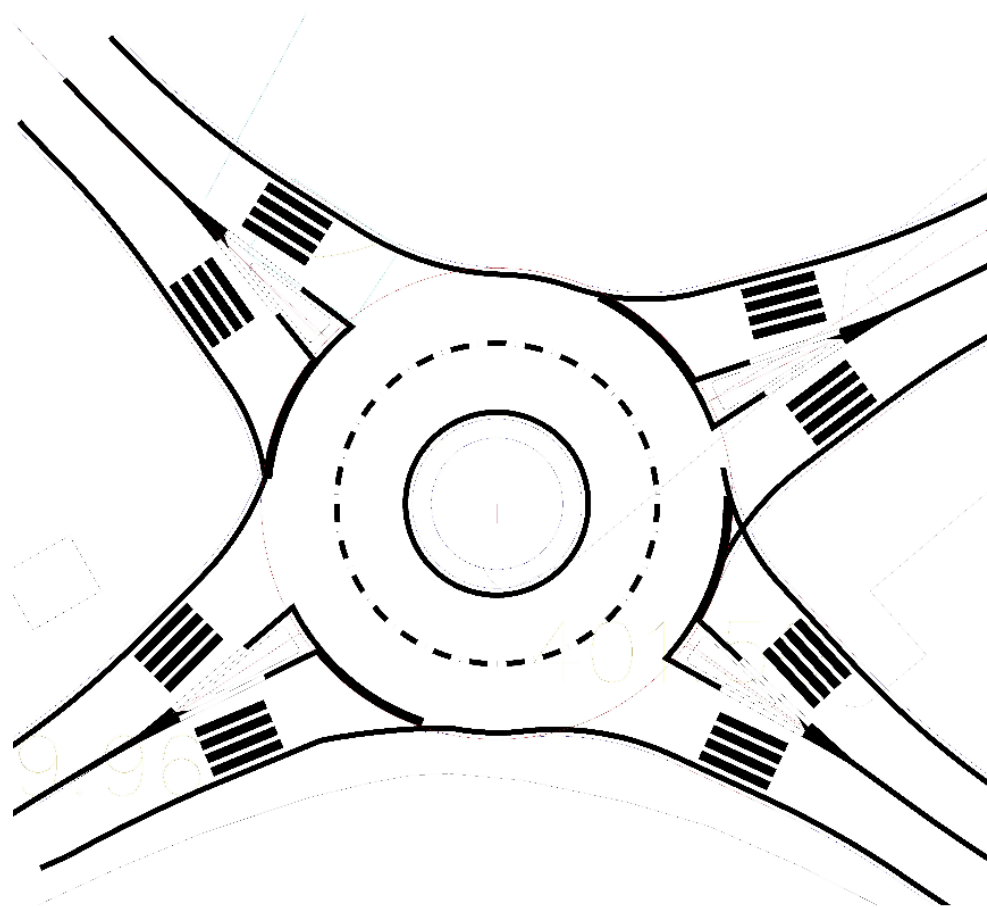


Fonte: C3D

Figura 80 – Dimensionamento ilhéu separador

Foram ainda introduzidas passadeiras em todos os acessos da interseção giratória, cumprindo o regulamentar disposto no Quadro 38.

O resultado final de dimensionamento da interseção giratória é o apresentado na Figura 81.



Fonte: C3D

Figura 81 – Interseção giratória

6.4. Dimensionamento de Pavimentos

Para o dimensionamento do pavimento, o parâmetro California Bearing Ratio (CBR) considerado foi de 7%, devido à falta de informação e indisponibilidade para ensaio do solo em causa optou-se por uma taxa de crescimento de 5%, prevendo que o volume de tráfego aumente nos próximos anos.

Os pavimentos propostos neste projeto são pavimento flexível para a faixa de rodagem e pavimento semi-rígido em microcubos de granito amarelo (5x5x5 cm) para os pavimentos pedonais.

Para o dimensionamento de pavimentos foi necessário determinar alguns fatores importantes, que influenciam o tipo de pavimento, como o volume de tráfego, temperaturas de serviço, módulos de deformabilidade e extensões admissíveis.

6.4.1. Volume de tráfego

Para determinar o volume de tráfego do projeto foi realizada uma contagem, num local estratégico, de passagem de veículos pesados, durante os intervalos de tempo das 7:00 às 9:00, das 12:00 às 14:00 e das 17:00 às 19:00 horas. Para os restantes intervalos de tempo foi considerada uma relação de 50 % do maior volume de cada intervalo presencial.

Na Figura 82 observa-se o diagrama da estimativa de volume de tráfego de pesados diário.

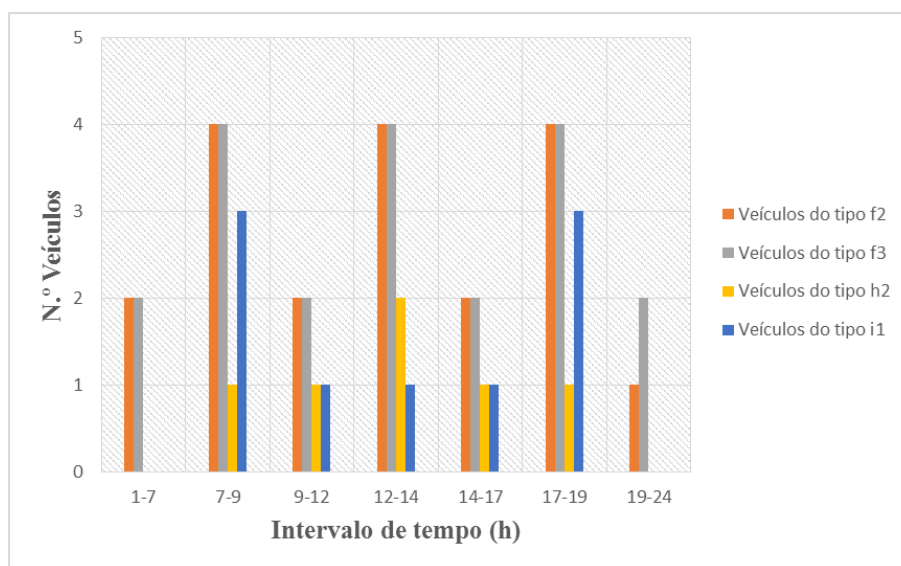


Figura 82 – Diagrama de volume de tráfego de pesados

Da observação da figura anterior conclui-se que o tráfego médio diário anual de pesados (TMDA_P) é de 54 veículos.

6.4.2. Pavimento flexível (faixa de rodagem)

Para a determinação do pavimento flexível, como indica no MACOPAV [10], realizou-se um estudo específico para a determinação das cargas aplicadas pelos veículos pesados.

6.4.2.1. Determinação do número de eixos padrão

Tendo em vista a verificação do dimensionamento dos pavimentos rodoviários, é usual exprimir os efeitos do tráfego pesado acumulado, ao longo do período de dimensionamento, em termos de número equivalente de eixo padrão, sendo adotado, segundo o Manual de Conceção de Pavimentos (MACOPAV) o eixo padrão de 80 KN para pavimentos flexíveis. O período de dimensionamento considerado é de 20 anos para pavimentos flexíveis. [10]

O número acumulado de passagens do eixo padrão é determinado pela seguinte expressão:

$$N = TMDAp \times 365 \times \sum_{i=1}^n (1 + r)^{n-1} \quad (51)$$

em que :

N – número acumulado de passagens do eixo padrão;

$TMDAp$ – tráfego médio diário anual de pesados;

r – taxa de crescimento (%);

n – período de dimensionamento.

Admitindo então uma taxa de crescimento de tráfego de 5% para o período de 20 anos, obtém-se:

$$g = \sum_{i=1}^{20} (1 + 0,05)^{20-1} = 33$$

Conclui-se então que:

$$N = 54 \times 365 \times 33 = 650430 = 6,50 \times 10^5$$

Determinando a percentagem relativa a cada tipo de veículo em relação ao total diário, à qual posteriormente é multiplicada pelo número acumulado de passagens (N) como se pode verificar pelo Quadro 49:

Quadro 49 – Estudo de tráfego (dimensionamento de pavimentos flexíveis)

CATEGORIA	N.º VEÍCULOS	PESO/EIXO [ton]			
		SIMPLES	TANDEM	TRIDEM	%
f2	228855	4	14	0	0,35
f3	240900	4+4	14	0	0,37
h2	72270	4+8	15	0	0,11
i1	108405	5+9	0	0	0,17

Após determinação do número acumulado de passagens é determinado o peso por eixo simples equivalente pela seguinte expressão:

$$N_{80} = N \times \left(\frac{P}{80}\right)^4 \quad (52)$$

em que:

N_{80} – número de eixos padrão

N – número acumulado de eixos tipo;

P – peso por eixos simples equivalente (KN).

É de destacar que para o cálculo do peso por eixo simples equivalente é necessário multiplicar o peso por eixo tipo de cada veículo por 9,81, no caso de eixos simples, e no caso de eixos tandem o produto será por 5,582 (9,81x0,569).

Desta forma, com a expressão (52) e com o Quadro 49 obtém-se o número total de eixos padrão, permitindo a elaboração do Quadro 50:

Quadro 50 – Número de eixos acumulados

TIPO DE EIXO	PESO POR EIXO [ton]	PESO EIXO SIMPLES EQ. [KN]	N.º EIXOS	N80
Simples	4	39,24	782925	45318,57
	5	49,05	108405	15319,53
	8	78,48	72270	66932,04
	9	88,29	108405	160818,29
Tandem	14	78,15	469755	427709,31
	15	83,73	72270	86713,80
			Σ	7,16E+05

6.4.2.2. Determinação das temperaturas de serviço

Nos pavimentos flexíveis, é essencial a combinação de dois tipos de ações, condições meteorológicas e tráfego, que influenciam a perda das características essenciais ao desempenho para que foram dimensionados. O módulo de deformabilidade dum mistura betuminosa é muito dependente da temperatura a que se encontra em serviço, designada por “temperatura de serviço”. A evolução desta temperatura deve ser conhecida, já que em geral as camadas betuminosas são determinantes no comportamento do pavimento flexível.

Na determinação das temperaturas de serviço é necessário, em primeiro plano, conhecer a temperatura média mensal do ar durante um ano, ou seja desde o mês de janeiro até dezembro (T_{mma}), para isso foram consultados os sites *Pordata* e *Weatheronline*. [21]

Aplicando o fator de ponderação da seguinte expressão:

$$w = 0,0723e^{(0,1296T_{mma})} \quad (53)$$

Obtém-se então o Quadro 51:

Quadro 51 – Temperatura média mensal do ar

MÊS	T _{mma}	FATOR PONDERAÇÃO
	[°C]	(w)
Jan	9,25	0,240
Fev	8,75	0,225
Mar	10,38	0,277
Abr	13,31	0,406
Mai	12,94	0,387
Jun	18,13	0,757
Jul	20,63	1,047
Ago	23,13	1,448
Set	21,94	1,241
Out	15,19	0,518
Nov	8,31	0,212
Dez	8,88	0,228
	Σ	6,986
	W _{médio}	0,58

Posteriormente é necessário determinar uma T_{mma} ponderada, para com ajuda do ábaco obter as temperaturas de cada camada, essa ponderação é obtida pela expressão:

$$T_{mma(a)} = 7,7068 \times \ln(w_{médio}) + 20,257 \quad (54)$$

em que:

T_{mma(a)} – temperatura média mensal do ar ponderada (°C).

Utilizando o ábaco da Shell, Figura 37, anteriormente apresentado, é determinante começar por atribuir espessuras para as camadas do pavimento. De forma a ser o mais económico possível adotou-se 5 cm para a camada de desgaste, 6 cm na camada de regularização e 7 cm de camada base. Após verificação adotou-se 5, 6, e 9 cm respetivamente para as camadas anteriormente descritas.

Pela relação entre a expressão (54) e o ábaco da Figura 37, obtiveram-se as temperaturas de serviço das camadas betuminosas, representadas no Quadro 52.

Quadro 52 – Temperaturas de serviço das camadas betuminosas pelo método da Shell

ESPESSURAS DAS CAMADAS CONSIDERADAS	MÉTODO SHELL - TEMPERATURAS DE SERVIÇO	
	[°C]	
[cm]	T _{mma} (ponderada)	16,1
5,0	T _{mb} (surf)	25,0
6,0	T _{mb} (reg)	24,4
9,0	T _{mb} (bin)	23,1

6.4.2.3. Cálculo dos módulos de deformabilidade

6.4.2.3.1. Módulo de deformabilidade do solo de fundação

Para a determinação do módulo de deformabilidade do solo de fundação foi considerado um CBR de 7%. Da expressão (20) pode-se então concluir que:

$$E_f = 17,6 \times 7^{0,64} = 61,15 \approx 61 \text{ MPa}$$

6.4.2.3.2. Módulo de deformabilidade da sub-base

Para a sub-base foi considerada uma espessura de 300 mm de aglomerado britado de granulometria extensa (ABGE), pelo que da expressão (21) resulta:

$$E_s = 61,15 \times (0,2 \times 300^{0,45}) = 159,26 \approx 159 \text{ MPa}$$

6.4.2.3.3. Módulo de deformabilidade da mistura betuminosa

Com a aplicação das expressões (22) a (32) determinou-se o módulo de deformabilidade para as seguintes camadas:

- Camada de desgaste_(surf):

Quadro 53 – Módulo de deformabilidade da camada de desgaste

DADOS DA CAMADA DE DESGASTE (suf)									Módulo de Def.(Powell)	
Mistura Bet.	V. base [Km/h]	T _{mb} [°C]	T _{ab} [°C]	PEN ₂₅	CBR [%]	V. vazios [%]	V. bet [%]	VMA [%]	E _f [MPa]	E _s [MPa]
B35/50	40,00	25,00	54,00	50,00	7,00	4,00	6,00	10,00	61	159
MÉTODO SHELL										
t _c	PEN _{25,r}	T _{abr} [°C]	IPEN _r	S _b [MPa]	Sm108	Sm3109	S68	S89	A	E _{mb} [MPa]
0,025	32,50	59,29	-0,09409	10,13	10,24	10,68	0,50	0,33	9,74	5486

- Camada de regularização_(reg):

Quadro 54 – Módulo de deformabilidade da camada de regularização

DADOS DA CAMADA DE REGULARIZAÇÃO (reg)									Módulo de Def.(Powell)	
Mistura Bet.	V. base [Km/h]	T _{mb} [°C]	T _{ab} [°C]	PEN ₂₅	CBR [%]	V. vazios [%]	V. bet [%]	VMA [%]	E _f [MPa]	E _s [MPa]
B35/50	40,00	24,40	58,00	50,00	7,00	6,00	5,50	11,50	61	159
MÉTODO SHELL										
t _c	PEN _{25r}	T _{abr} [°C]	IPEN _r	S _b [MPa]	Sm108	Sm3109	S68	S89	A	E _{mb} [MPa]
0,025	32,5	59,29	-0,09409	21,16	10,17	10,66	0,48	0,36	9,85	7054

- Camada de base_(bin):

Quadro 55 – Módulo de deformabilidade da camada de base

DADOS DA CAMADA DE BASE (bin)									Módulo de Def.(Powell)	
Mistura Bet.	V. base [Km/h]	T _{mb} [°C]	T _{ab} [°C]	PEN ₂₅	CBR [%]	V. vazios [%]	V. bet [%]	VMA [%]	E _f [MPa]	E _s [MPa]
B35/50	40,00	23,10	58,00	50,00	7,00	8,00	4,50	12,50	61	159
MÉTODO SHELL										
t _c	PEN _{25r}	T _{abr} [°C]	IPEN _r	S _b [MPa]	Sm108	Sm3109	S68	S89	A	E _{mb} [MPa]
0,025	32,50	59,29	-0,09409	25,58	10,13	10,64	0,44	0,38	9,87	7455

6.4.2.4. Determinação das extensões admissíveis

Para a determinação das extensões exercidas pelas cargas sobre as diferentes camadas constituintes de um pavimento foi igualmente utilizado um método da Shell, obtendo-se as extensões verticais e transversais admissíveis.

Como verificação, dos resultados obtidos, foi utilizado o software de cálculo automático Alize-LCPC, posteriormente apresentados neste capítulo.

6.4.2.4.1. Extensões verticais

De acordo com a expressão (33) e com o coeficiente k_s de $1,8 \times 10^{-2}$ para 95% de probabilidade de sobrevivência, determinou-se a extensão vertical obtendo-se o seguinte valor:

$$\varepsilon_v = 1,8 \times 10^{-2} \times (7,16 \times 10^5)^{-0,25} = 6,19 \times 10^{-4} \approx 619 \text{ microns}$$

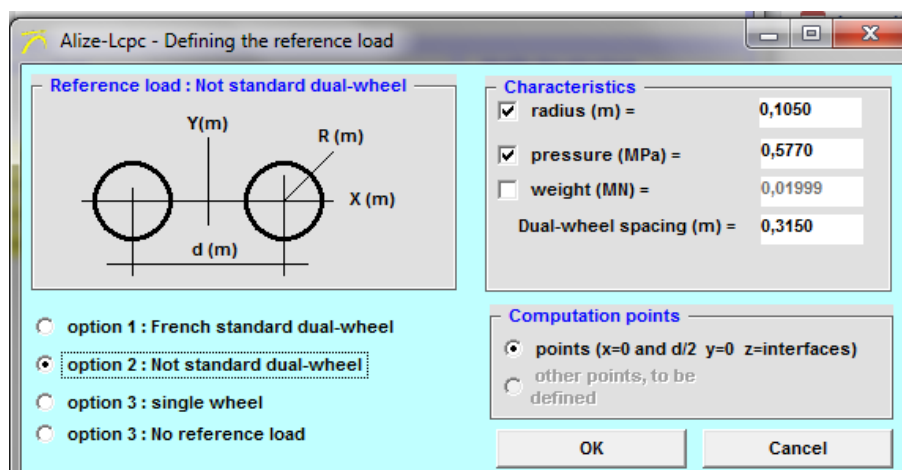
6.4.2.4.2. Extensões transversais

Na sequência da expressão (34) obtiveram-se as seguintes extensões transversais para as diferentes camadas:

Quadro 56 – Extensões de tração máxima admissíveis

EXTENÇÕES TRANSVERSAIS ADMISSÍVEIS				
Tipo de camada	Módulo de Deformabilidade (MPa)	N 80 Admissível	V. bet [%]	Extensão de Tração Máxima Admissível (μdef)
Desgaste	5486	7,16E+05	6,00	130,73
Regularização	7054		5,50	111,20
Base	7455		4,50	92,89

Posteriormente compararam-se as extensões obtidas pelo método da Shell com as extensões determinadas com o programa automático Alize-LCPC. Todas as camadas levaram uma rega de colagem, sendo entre a base e a sub-base uma rega de impregnação. No programa a “reference load” (carga de referência) aplicada foi a representada na Figura 83, de maneira a ser comparável com as extensões calculadas através do N_{80} .

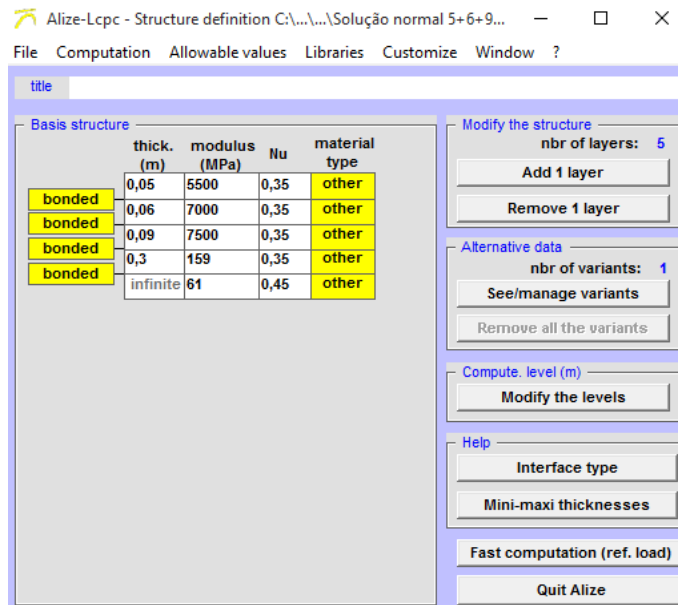


Fonte: Alize

Figura 83 – Carga de referência utilizada no software Alize-Lcpc

Após definição das cargas de referência foram introduzidas as espessuras das camadas, o módulo de deformabilidade e o coeficiente de Poisson, para determinação das extensões instaladas em cada camada, como indica a Figura 84.

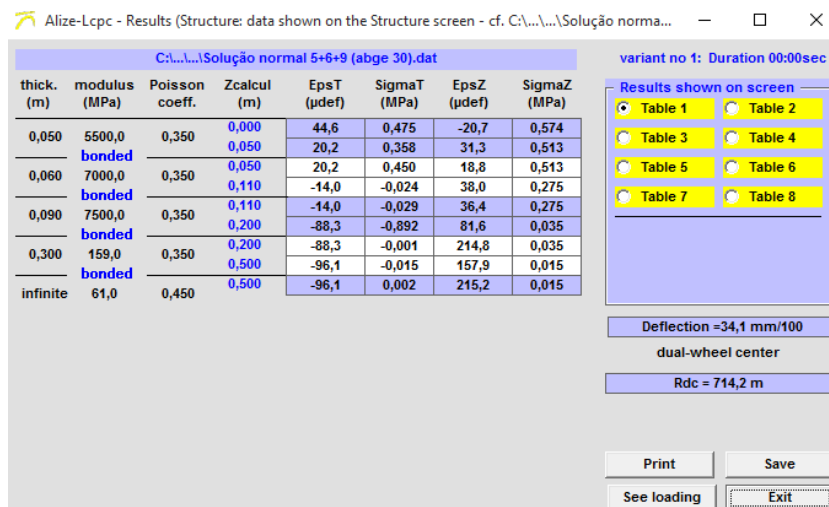
Verifica-se que todas as camadas estão ligadas (“bonded”) e que o coeficiente de Poisson admitido para os diferentes estratos apenas difere no solo de fundação que toma o valor de 0,45.



Fonte: Alize

Figura 84 – Introdução dos dados de cálculo no Alize-Lcpc

Correndo o programa automático obtiveram-se as extensões apresentadas para cada camada, desgaste, regularização, base, sub-base e solo de fundação, de cima para baixo, conforme a Figura 85. Os valores a observar são para as extensões transversais (EpsT) e verticais (EpsZ) os relativos ao fundo de cada camada, ou seja, os valores de “Zcalcul” de 0,050 m, 0,110 m, 0,200 m e 0,500 m.



Fonte: Alize

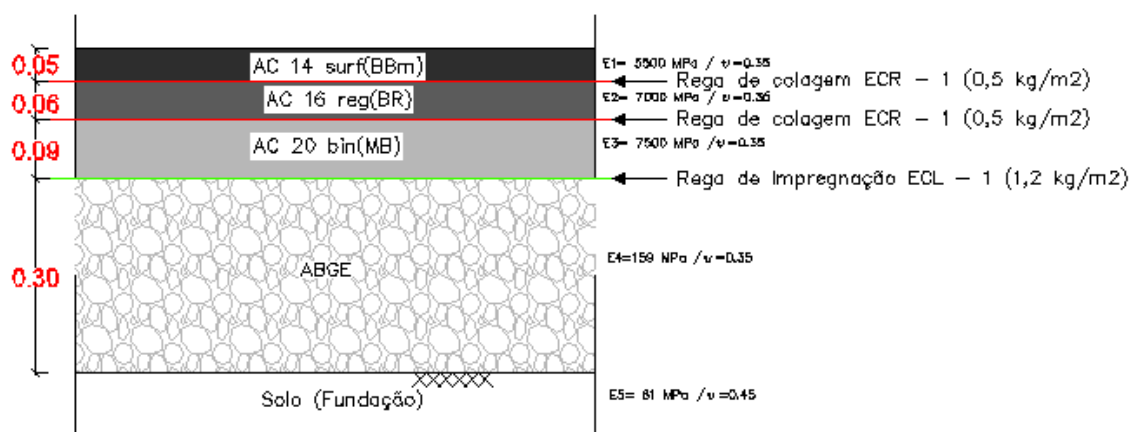
Figura 85 – Extensões instaladas (Alize-Lcpc)

De forma sucinta, como comparação das extensões admissíveis e as instaladas, elaborou-se o Quadro 57, onde se pode verificar que todas as extensões instaladas são inferiores às admissíveis, garantindo ainda uma margem de segurança superior a 5%.

Quadro 57 – Quadro resumo do pavimento flexível

Camada	Material	Esp. (cm)	T. (°C)	E_m (MPa)	$\epsilon_{t adm.}$ (μdef)	$\epsilon_{t inst.}$ (μdef)	$\epsilon_{v adm.}$ (μdef)	$\epsilon_{v inst.}$ (μdef)
Desgaste	BBM-AC 14 surf.	5,00	25,00	5486	130,73	20,20	618,77	31,30
Regularização	BR-AC 16 reg.	6,00	24,40	7054	111,20	-14,00	618,77	28,00
Base	MB-AC 20 bin.	9,00	23,10	7455	92,89	-88,30	618,77	81,60
Sub-base	ABGE	30,00	-	159	-	-	618,77	157,90
Fundação	Solo	-	-	61	-	-	-	-

Perante o determinado, já é possível apresentar pormenores do pavimento dimensionado, Figura 86.



Fonte: AutoCad

Figura 86 – Pormenor pavimento flexível

Existem outros tipos de pormenores necessários, como a ligação entre pavimento flexível e o passeio e a ligação pavimento flexível e a zona ajardinada da rotunda, esses pormenores podem ser observados em anexo com melhor definição.

Embora a solução apresentada anteriormente seja uma solução dita corrente, com recurso a materiais comuns em pavimentação, propõe-se que para a camada de desgaste seja utilizado um betume modificado com borracha (BMB).

O betume modificado com borracha é uma mistura de betume, borracha de pneus usados e de determinados aditivos (borracha é $\pm 15\%$ do peso total da mistura) com diferença no desempenho de betumes convencionais. Nos betumes modificados com borracha não existe uma reação química entre o betume tradicional e o granulado de borracha, pois esta atua como aditivo e não como elemento modificador, uma vez que o aumento de volume do granulado de borracha é uma difusão e não uma reação química.

As vantagens da utilização deste tipo de betumes podem agrupar-se em quatro principais fatores:

- Vantagem Técnica: os BMB oferecem maior durabilidade, maior resistência à fadiga e deformação permanente, elevada resistência à propagação de fendas e impermeabilização do pavimento mais eficaz;
- Vantagem Económica: execução de camadas mais finas originando menor tempo e custos de construção, menores custos de manutenção devido ao melhor desempenho do pavimento;
- Vantagem social: os pavimentos com utilização dos BMB em camadas de desgaste oferecem maior segurança rodoviária, melhor contraste entre pavimento e marcas rodoviárias (a borracha confere uma cor mais negra ao pavimento), redução do ruído provocado pelos veículos e maior capacidade drenante;
- Vantagem Ambiental: principalmente a utilização dos pneus usados e consequente redução de agregados e petróleo.

Em contrapartida as principais desvantagens da utilização de betumes modificados e betumes convencionais são os custos da matéria-prima, dos equipamentos e tipo de construção que estes exigem.

Foram estudadas outras opções que serão apresentadas em anexo.

Quanto ao troço a requalificar, anteriormente descrito, sugere-se a utilização do mesmo tipo de pavimento dimensionado neste capítulo.

6.4.3. Pavimento pedonal

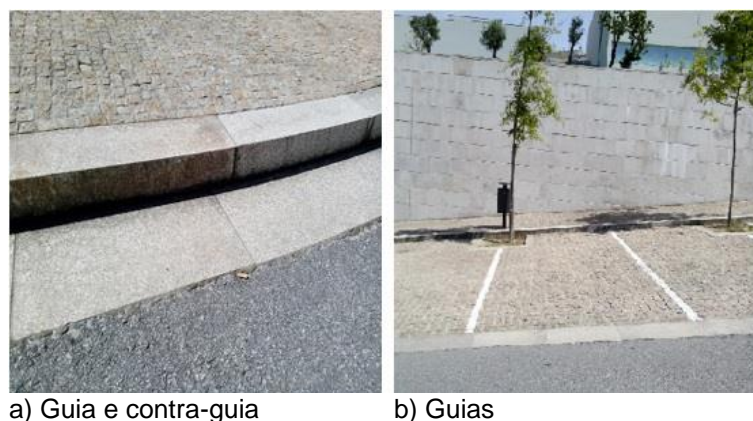
Os passeios pedonais adotados têm uma largura de 1,80 m em toda a extensão da via, exceto casos especiais assinalados, onde a largura do passeio teve que ser reduzida a 1 m devido a condicionantes (habitações).

O Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes [11] faz referência que o espaço vital para o peão é cerca de 0,80 m, pelo que a largura mínima adotada neste projeto garante essa condição.

Um pavimento semi-rígido é composto por uma camada à superfície de microcubos de granito (5x5x5 cm), a camada subjacente é em traço seco de areia na proporção 1:5 apoiada num massame de betão, em que este, por sua vez, se encontra apoiado numa camada de aglomerado britado de granulometria extensa (ABGE).

Serão incluídas guias na fronteira faixa de rodagem-passeio.

Estas características têm seguimento a infraestruturas já existentes no concelho de forma a manterem o mesmo padrão, conforme demonstra a Figura 87.

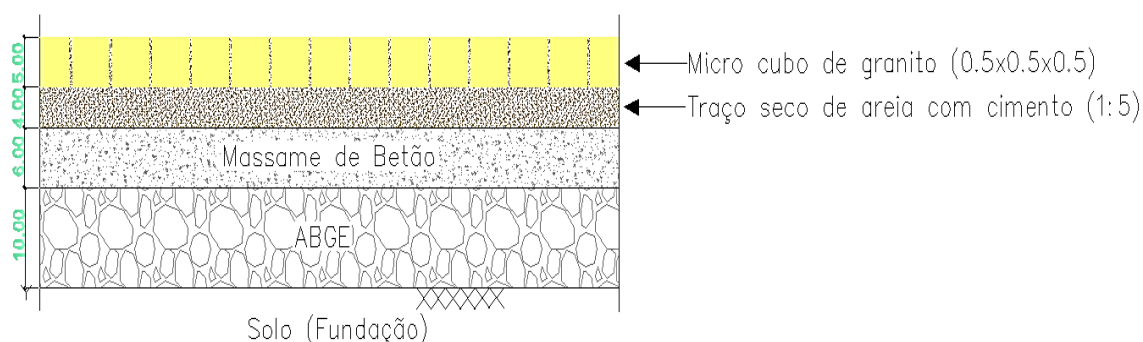


a) Guia e contra-guia

b) Guias

Figura 87 – Modelo de obras acessórias

A Figura 88 representa o pormenor do pavimento semi-rígido adotado neste trabalho.



Fonte: AutoCad

Figura 88 – Pormenor pavimento semi-rígido

Para uma melhor visualização são apresentados em anexo outros pormenores.

6.5. Drenagem de Águas Pluviais

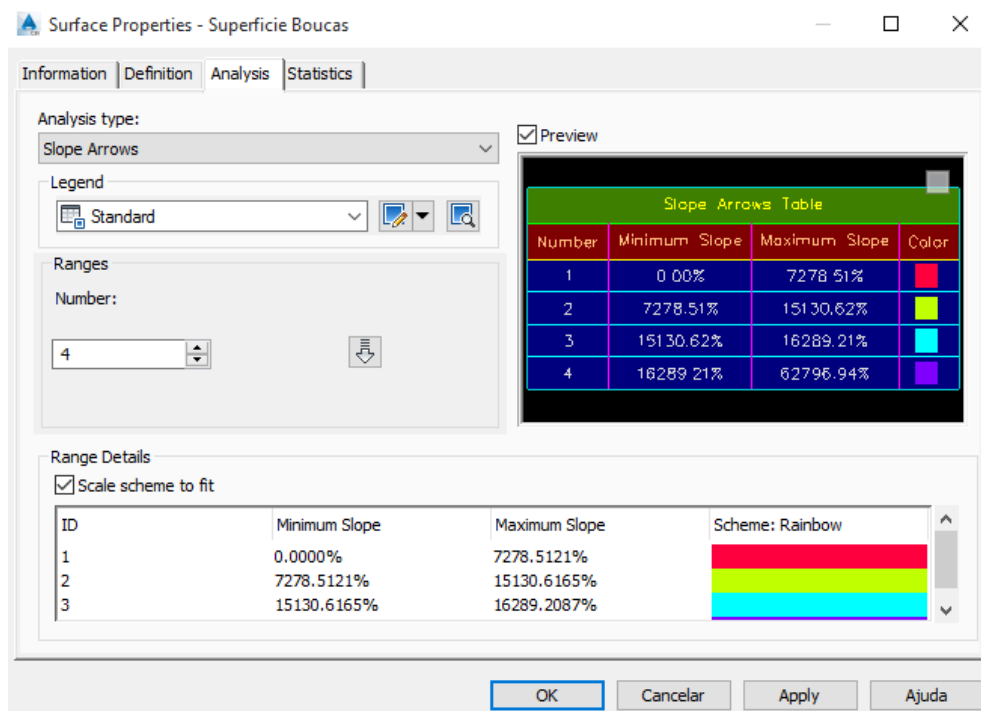
O principal objetivo da drenagem superficial é garantir o escoamento das águas pluviais da plataforma e também assegurar que as águas provenientes de terrenos vizinhos sejam escoadas.

Para tal foi necessário verificar o sentido do escoamento da água da chuva para ser possível determinar o tipo de sistemas de drenagem a implantar.

6.5.1. Análise do escoamento

Recorrendo ao levantamento topográfico identificaram-se os pontos altos envolventes à plataforma da via, descobrindo assim o sentido de escoamento. Para confirmação foi utilizada a ferramenta C3D, que permitiu automaticamente representar setas com a orientação e sentido do escoamento de águas superficiais.

A Figura 89 representa essa análise recorrendo ao C3D da seguinte forma: *Modify > Surface > Surface Properties > Analysis type > Slope Arrows*.

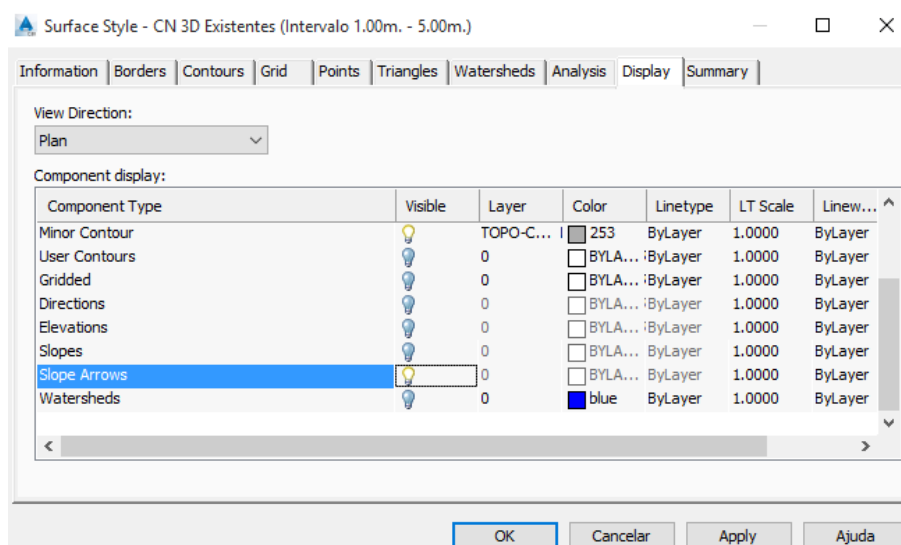


Fonte: C3D

Figura 89 – Criar setas de escoamento de água

Efetuada este comando foi ainda necessário, para tornar as setas visíveis, alterar algumas definições na superfície de trabalho.

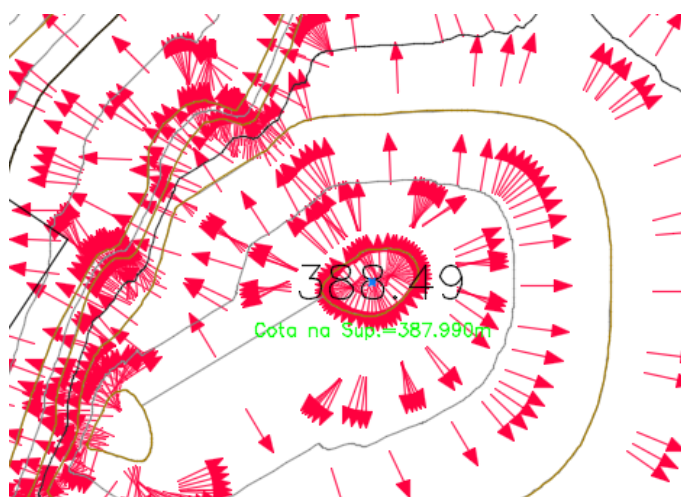
Essa alteração resultou dos seguintes passos, Figura 90, na ferramenta C3D: *Modify > Surface > Surface Properties > Surface Style > Display > Slope Arrows > Visible > on.*



Fonte: C3D

Figura 90 – Tornar setas de escoamento visíveis

Após todos estes passos o resultado obtido foi o indicado na Figura 91, onde se pode verificar claramente o sentido percorrido pela água.

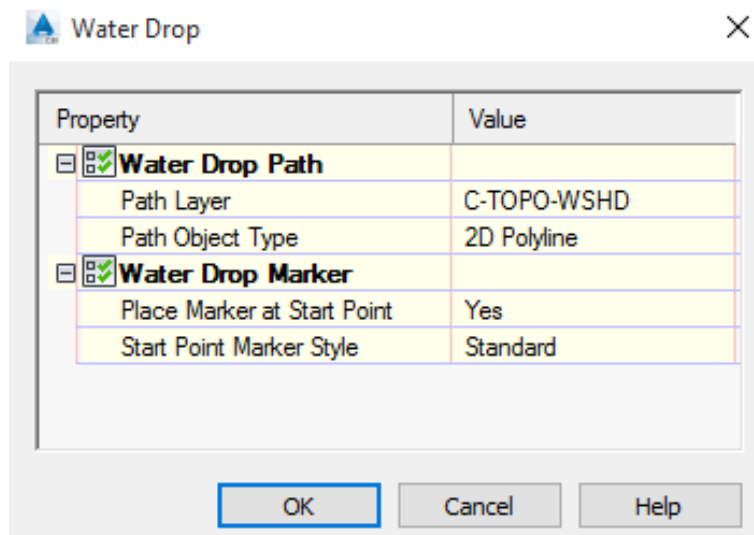


Fonte: C3D

Figura 91 – Setas de escoamento

As setas permitiram analisar os escoamentos mas, foi ainda utilizado outro método para verificar as linhas de água resultantes da chuva, recorrendo mais uma vez à ferramenta C3D.

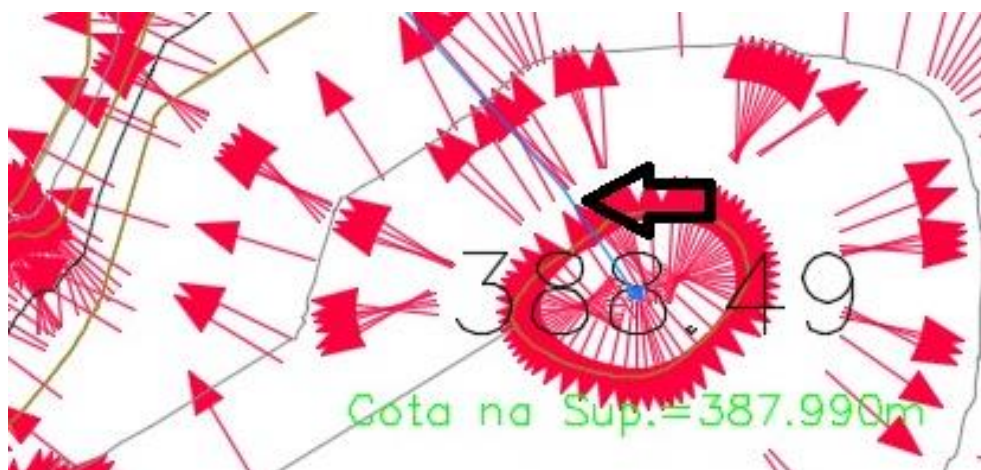
Efetuando os seguintes passos, *Analyze > Flow Paths > Water Drop*, surgiu a janela, Figura 92, que permitiu posteriormente, escolhendo um ponto inicial na superfície, obter a sua linha de escoamento.



Fonte: C3D

Figura 92 – Criar linhas de escoamento

Assumindo os pontos de cota mais elevada como ponto inicial para a linha de escoamento, criam-se algumas linhas de escoamento, linha a azul, para facilitar a compreensão do trajeto da água, como indica a Figura 93.



Fonte: C3D

Figura 93 – Linhas de escoamento

Estas linhas permitem determinar os locais de escoamento da água da chuva, mas para isso é necessário que a superfície de estudo seja trabalhada nesse sentido.

6.5.2. Determinação de elementos de cálculo

Uma vez que não existem linhas de água a escoar para a plataforma, visto esta estar situada numa cumieira, apenas se teve em consideração a água caída sobre a própria plataforma e taludes convergentes.

Tratando-se de uma estrada municipal adotou-se um período de retorno de 10 anos, segundo o Quadro 26.

6.5.2.1. Intensidade de precipitação

Para determinar os caudais de projeto foi necessário conhecer dados pluviométricos da zona da obra rodoviária, obtidos das curvas Intensidade – Duração – Frequência (I –D –F).

Essas curvas permitiram obter os parâmetros “a” e “b”, Quadro 32, para a zona de Viseu, em que para um período de retorno de 10 anos esses parâmetros são 500,67 e -0.754, respetivamente.

Então, pela expressão (35) foi possível determinar a intensidade de precipitação, utilizando um tempo de concentração de 10 minutos:

$$I = 500,67 \times 10^{-0,754} = 88,22 \text{ mm/h}$$

6.5.2.2. Determinação do caudal

Para determinar o caudal foi necessário fazer uma análise do terreno a expropriar para cada lado do eixo da estrada de forma a obter as áreas dos taludes onde a água converge para a plataforma.

Sendo que foi considerada uma largura de faixa de 3 m, aos quais se adicionam 1,80 m do passeio e 0,30 m de meia cana para recolha de águas, perfazendo um total de 5,10 m, no alinhamento principal, foi considerada a faixa do lado esquerdo do eixo, uma vez que apresenta visivelmente uma maior área de expropriação.

Como os perfis transversais se encontram distanciados de 12,5 m, obtiveram-se os valores apresentados no Quadro 58.

Quadro 58 – Largura da faixa a expropriar à esquerda do eixo

N.º PERFIS	l_e (m)	N.º PERFIS	l_e (m)	N.º PERFIS	l_e (m)	N.º PERFIS	l_e (m)
0+000,00	6,32	0+125,00	7,22	0+250,00	5,10	0+375,00	5,10
0+012,50	5,52	0+137,50	7,26	0+262,50	5,68	0+387,50	5,10
0+025,00	5,10	0+150,00	5,15	0+275,00	5,91	0+400,00	6,30
0+037,50	5,10	0+162,50	5,10	0+287,50	5,87	0+412,50	9,90
0+050,00	5,10	0+175,00	5,10	0+300,00	5,10	0+425,00	17,01
0+062,50	5,95	0+187,50	5,10	0+312,50	5,10	0+437,50	19,10
0+075,00	5,10	0+200,00	5,10	0+325,00	5,10	0+450,00	15,94
0+087,50	5,10	0+212,50	5,10	0+337,50	5,10	0+462,50	15,09
0+100,00	7,64	0+225,00	5,10	0+350,00	5,10	0+475,00	7,53
0+112,50	7,05	0+237,50	2,10	0+362,50	5,10	0+485,28	5,10

Efetuada o somatório de todas as parcelas, segundo a próxima expressão:

$$A_{talude} = \sum [(l_e - l_i) \times d] \quad (55)$$

em que:

A_{talude} – área do talude (m^2);

l_e – largura da faixa esquerda ao eixo, a expropriar (m);

l_i – largura da faixa esquerda ao eixo (m);

d – distância entre perfis transversais (m).

Desta forma obteve-se uma área total de $A_{talude} = 820,50 m^2$.

Determinou-se ainda a área da via incluindo o passeio pela expressão:

$$A_{v+p} = l_{v+p} \times L \quad (56)$$

onde:

A_{v+p} – área total da via e passeio (m^2);

l_{v+p} – largura da via com passeio (m);

L – comprimento do troço (m).

A área total de pavimento incluindo o passeio, para o lado esquerdo ao eixo da via, foi de $A_{v+p} = 2329,34 m^2$.

Admitindo um coeficiente médio de escoamento de 0,9 para a drenagem da plataforma, e pela expressão (38), obteve-se:

$$Q_p = \frac{0,9 \times 88,22 \times (820,50 + 2329,34)}{3600} = 69,47 l/s$$

O estudo de drenagem relativo a este trabalho termina neste ponto, havendo ainda muito mais para aprofundar como por exemplo dimensionar as sarjetas, coletores e drenagem transversal, mas por falta de tempo não foi possível concluir o capítulo de drenagem de águas pluviais.

6.6. Sinalização e Segurança

A sinalização rodoviária quando bem implantada contribui fortemente para a segurança e conforto dos utentes das vias, tanto para condutores como para peões.

Existem características dimensionais das marcas longitudinais que são definidas pela relação traço-espaco e pela largura de cada marca. As marcas rodoviárias são utilizadas para separar tráfego e delimitar as vias de circulação existindo dois tipos de marcas rodoviárias, as marcas transversais e as marcas longitudinais.

As marcas longitudinais são linhas na faixa de rodagem com o objetivo de separar os sentidos ou as vias de tráfego. [16]

Os tipos de marcas longitudinais utilizadas neste trabalho são:

- LBC (Linha Branca Contínua): com proibição de pisar ou transpor, devendo o condutor circular sempre pela direita (exceto a linha separe sentidos de tráfego);
- LBT (Linha Branca Tracejada): o condutor apenas deve pisa-la para efetuar manobras;
- LBM (Linha Branca Mista): linha contínua adjacente a linha descontínua. Consoante a linha mais próxima do condutor este pode, ou não, ultrapassar;
- LBTg (Linha Branca Tracejada de abrandamento): linha de traços largos apenas transposta para efetuar manobras.

As dimensões regulamentares das marcas acima referidas são as indicadas no Quadro 59.

Quadro 59 – Dimensões das marcas longitudinais

Nomenclatura	40-60 km/h (arruamentos urbanos)		
	Largura (m)	Traço (m)	Espaçamento (m)
LBC	0,10*	-	-
LBT	0,10*	3,0	4,0
LBM	0,10*	3,0	4,0
LBTg	0,20	1,5	2,0

Fonte: Sinalização Rodoviária, CCDRN

* Tem sido utilizada para este escalão de velocidades larguras de 0,20 m que melhora a visibilidade das marcas.

O quadro anterior faz referência às dimensões das marcas para a velocidade base adotada neste trabalho, ou seja, 40 km/h, assim como o tipo de via em questão, neste caso uma estrada urbana.

As marcas transversais são marcas no sentido da largura das faixas de rodagem, podendo ser complementadas por símbolos ou inscrições com o objetivo de informar ao condutor locais de eventuais paragens. [16]

As marcas transversais utilizadas neste trabalho são:

- M8: linha transversal contínua de paragem obrigatória imposta por outra sinalização;
- M8a: Linha de paragem M8 é reforçada pela inscrição “STOP” no pavimento;
- LBTc: linha transversal descontínua que indica um local de eventual paragem, reforçada por símbolo triangular com a base paralela a esta;
- M11: constituída por barras longitudinais, paralelas ao eixo da via, com intervalos regulares, e indica o local de atravessamento de peões.

As características dimensionais das marcas transversais utilizadas no desenvolvimento deste trabalho são apresentadas no Quadro 60.

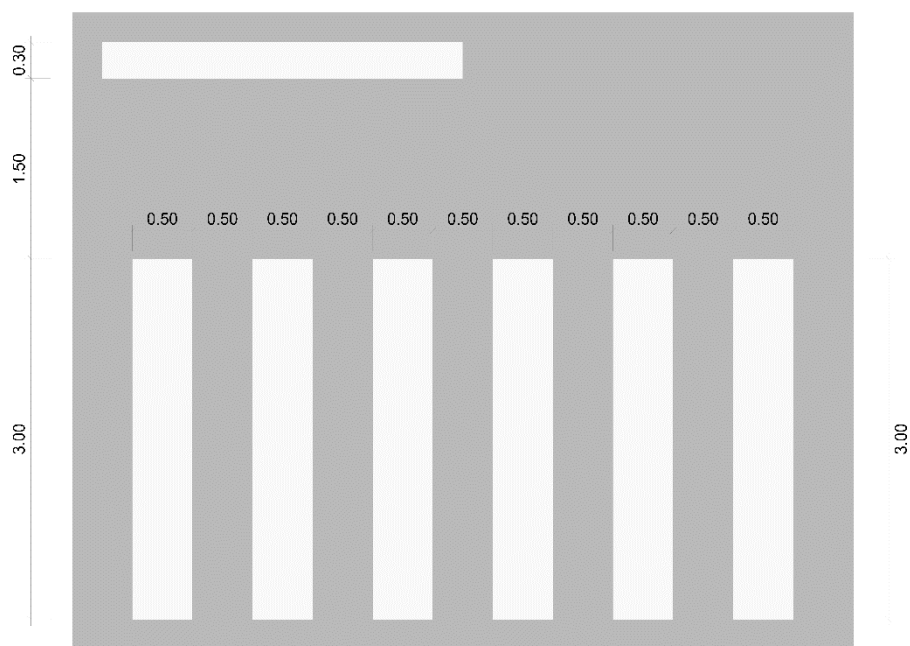
Quadro 60 – Dimensões das marcas transversais

Nomenclatura	40-90 km/h		
	Largura (m)	Traço (m)	Espaçamento (m)
M8	Barra com 0,50 m de largura, perpendicular ao eixo da via		
M8a			
LBTc	0,3	0,4	0,3
M11	Barras com 0,50 m de largura, paralelas ao eixo da via e afastadas entre si de 0,50 m		

Fonte: Sinalização Rodoviária, CCDRN

No subcapítulo 5.4.1.2. estão apresentados alguns esquemas das referidas linhas para melhor perceção, assim como as definições e dimensionamento de outros tipos de marcas rodoviárias utilizadas habitualmente num projeto de sinalização.

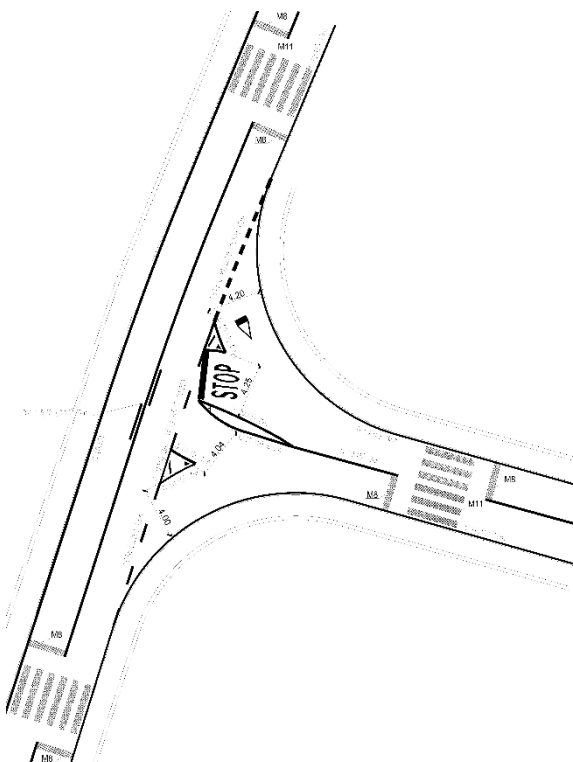
A Figura 94 apresenta um exemplo de aplicação da passadeira (M11) com linha de paragem (M8).



Fonte: AutoCad

Figura 94 – Ilustração de uma passadeira

Depois de definidas as marcas necessárias de sinalização e segurança da via projetada é possível elaborar o referido projeto de sinalização, como se pode verificar pela Figura 95.



Fonte: AutoCad

Figura 95 – Marcas rodoviárias numa intersecção de nível

A figura anteriormente apresentada pode ser consultada em anexo com melhor qualidade e pormenor.

Num projeto de sinalização e segurança, para além das marcas rodoviárias, são incorporados também elementos de sinalização vertical.

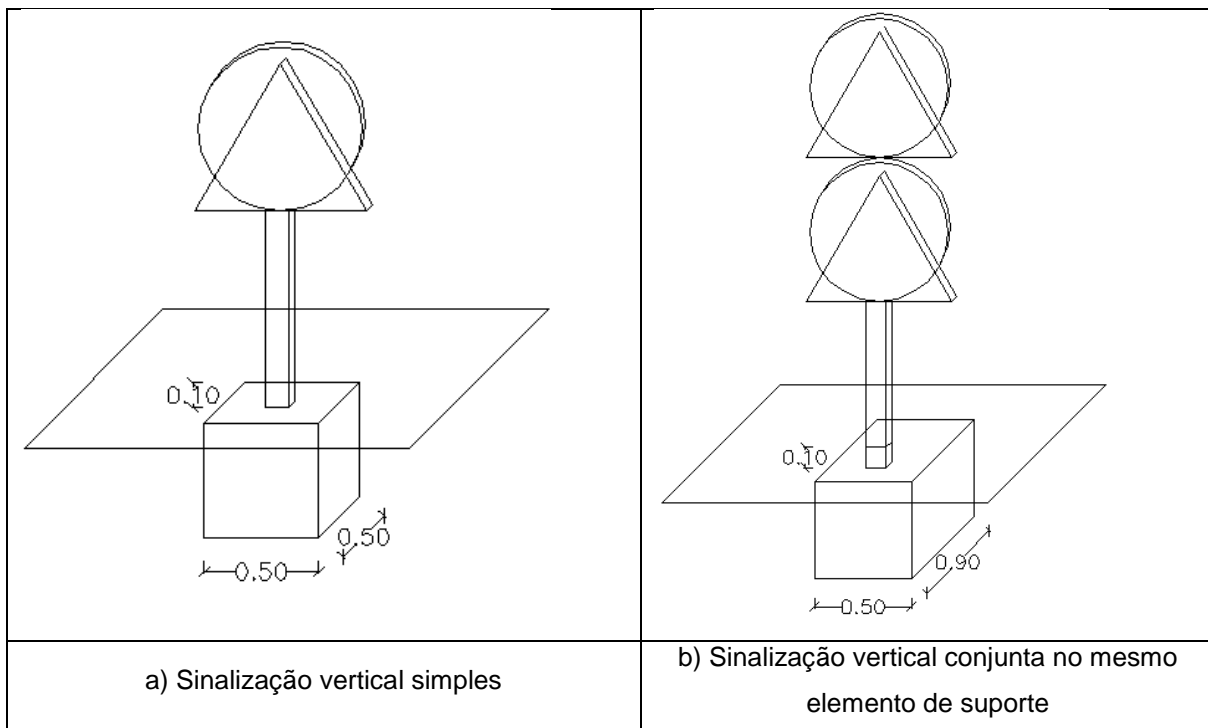
Para a elaboração do projeto de sinalização vertical são tidos em conta os parâmetros dimensionais descritos em 5.4.2.2. e os critérios de colocação de seguida apresentados.

A sinalização vertical deve ser colocada de modo a garantir boas condições de legibilidade das mensagens neles contidas e a acautelar a normal circulação e segurança dos utentes das vias. [16]

A colocação de um sinal vertical engloba:

- Colocação transversal: afastamento lateral do sinal relativamente à faixa de rodagem ou limite do passeio;
- Colocação vertical: altura do sinal ao solo e conjunto de sinais no mesmo suporte;
- Colocação Longitudinal: distância entre o sinal e o assinalado.

A sinalização vertical pode ser realizada isoladamente ou em conjunto no mesmo elemento de suporte como indica a Figura 96.

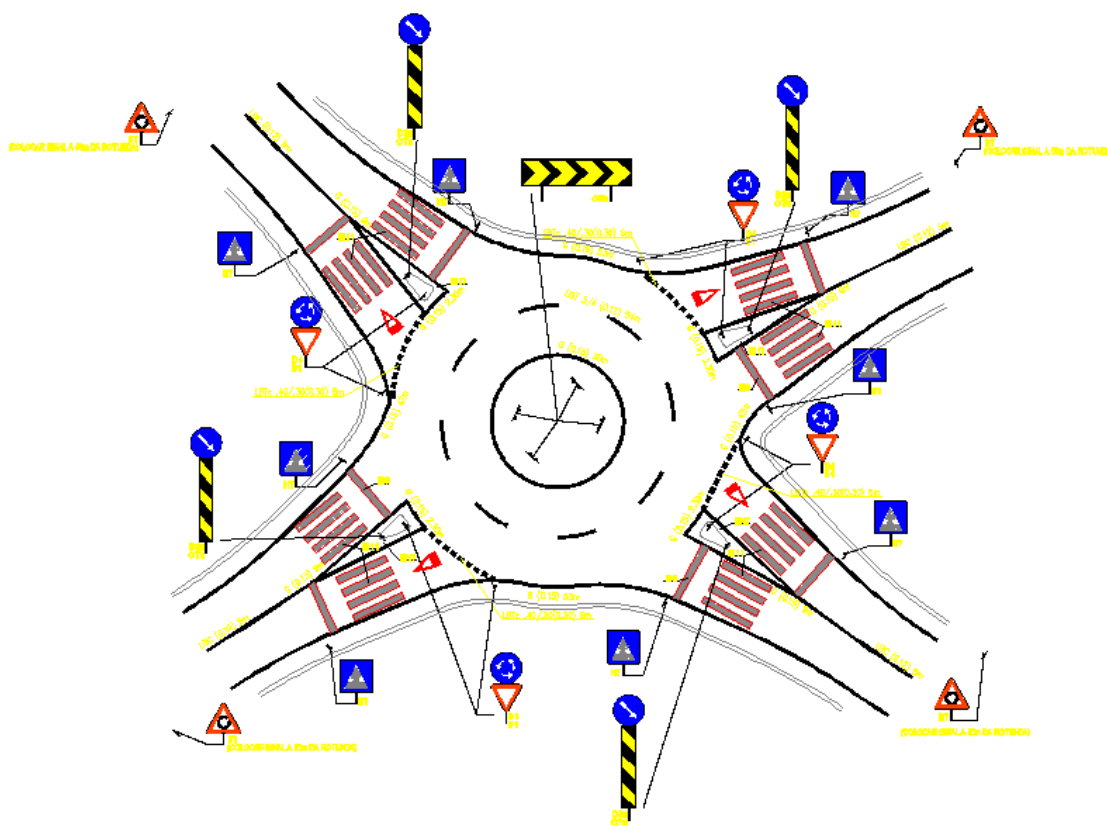


Fonte: AutoCad

Figura 96 – Disposição de sinalização vertical

Após a definição da sinalização vertical a implantar, terminou-se o projeto de sinalização e segurança da via, para que o condutor e o peão possam usufruir das melhores condições de comodidade e segurança.

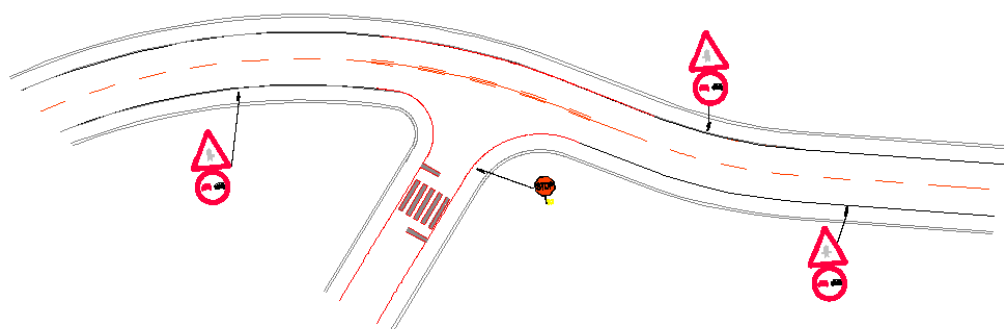
O resultado final é o apresentado na Figura 97 onde se apresenta o projeto de sinalização e segurança da interseção giratória.



Fonte: AutoCad

Figura 97 – Sinalização e segurança (interseção giratória)

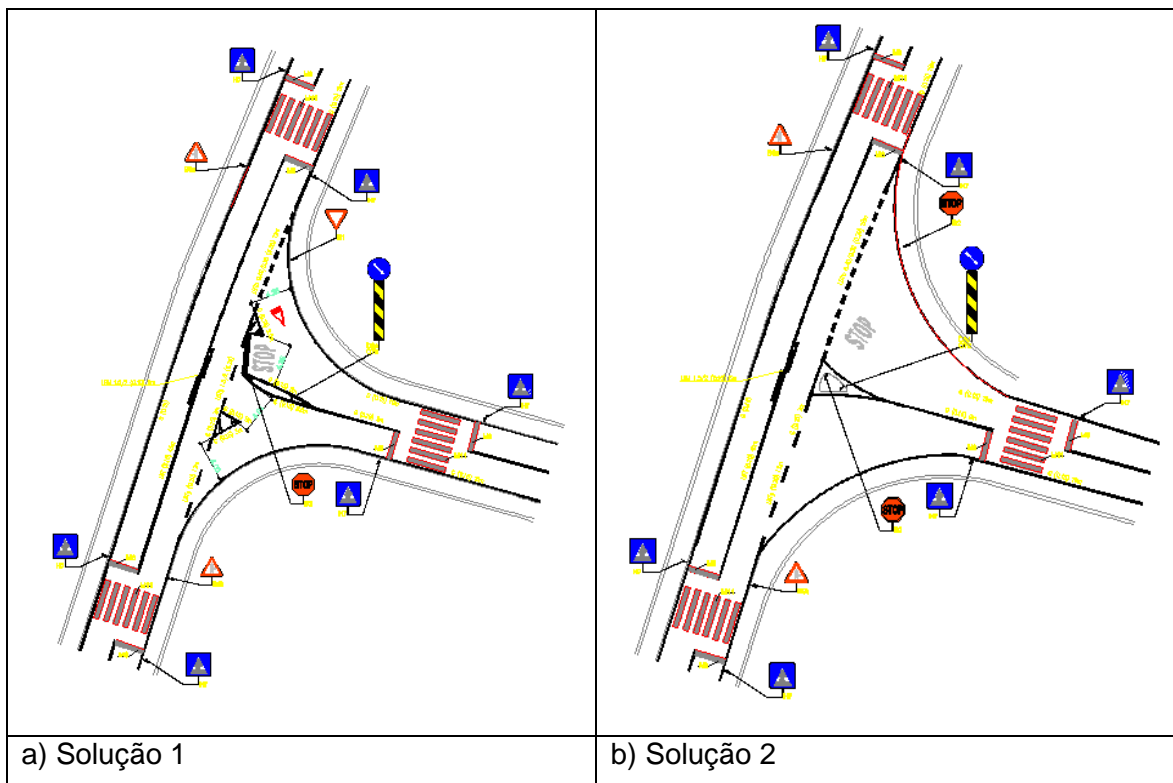
A Figura 98 demonstra um segmento do trecho sinalizado.



Fonte: AutoCad

Figura 98 – Sinalização e segurança (segmento do trecho)

Foram igualmente dimensionadas duas soluções, Figura 99, para a interseção de nível, que apresentam diferentes raios de viragem à direita. A solução 1, devido ao espaço livre, apresenta um raio de viragem de 15 m, enquanto que a solução 2, com um raio de 20 m, cumpre as normas regulamentares para raios de viragem à direita para camiões em interseções de 100 graus, como o apresentado em 5.5.



Fonte: AutoCad

Figura 99 – Sinalização e segurança (interseção de nível)

O projeto de sinalização e segurança, apresentado em anexo, englobou a aplicação das marcas rodoviárias apresentadas no seu subcapítulo, assim como a implantação de sinalização vertical.

7. Conclusão

7.1. Considerações Finais

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões relativamente ao trabalho desenvolvido para o estudo e projeto de uma variante urbana.

Inicialmente realizou-se um estudo “*in-situ*” de todas as possíveis condicionantes para a implantação de uma via urbana, condicionantes essas que se vieram a confirmar com as dificuldades encontradas na escolha do traçado.

Foram realizadas várias deslocações ao local em questão para que se pudessem retirar vários apontamentos e fotografias sobre as condicionantes encontradas, determinando-se essencialmente três, como o desnível existente no ponto inicial da via principal a projetar, a proximidade de duas habitações limitando a localização da diretriz, e os elevados declives que se faziam sentir.

Registaram-se alguns serviços afetados com a implantação da via, como serviços de eletricidade e telecomunicações, elaborando-se um projeto de serviços afetados.

Para a verificação do traçado foi utilizado o C3D, que demonstrou ser uma ferramenta muito útil na elaboração de projetos de vias de comunicação e que permitiu elaborar todos os elementos constituintes de uma estrada, possibilitando ainda alterar e experimentar várias soluções.

A C.M.C. forneceu o levantamento topográfico e um possível traçado em planta. Ambos os elementos fornecidos tiveram que ser trabalhados, ajustados e melhorados com o intuito de se obter uma superfície com melhor modelação de terreno para uma maior precisão.

Foram ainda utilizadas outras “ferramentas” como o Google Earth, Caesium e o Microsoft ICE, que permitiram obter e trabalhar imagens panorâmicas do local de implantação da estrada, para posteriormente serem integradas no Civil 3D.

Foram apresentados os conceitos básicos e teóricos necessários à realização de um projeto de vias de comunicação, tais como velocidade base, visibilidade, geometria do traçado em planta, perfil longitudinal e perfil transversal.

Em todos os elementos do traçado da via tentou-se cumprir os dispostos regulamentares, não sendo praticável fazê-lo em alguns aspetos, como no dimensionamento da interseção giratória em que não foi possível a introdução de um raio interior regulamentar de 15 m devido ao

espaço reduzido, na interseção de nível pelos mesmos motivos não foi possível manter o raio de viragem à direita de 20 m para camiões, adotando-se um raio de 15 m.

No traçado geral houve ainda uma situação em foi necessário ultrapassar a inclinação máxima, mas devido ao grau de importância da via em questão não se previra nenhum inconveniente.

Foi também efetuado um alargamento de uma via existente para que permitisse uma circulação semelhante à da via em foco neste trabalho.

Após a definição do traçado, de forma a preparar a superfície para receber o pavimento, foram efetuados serviços de terraplenagens obtendo-se, através do C3D, os quadros de movimentos de terras e as curvas de volumes acumulados.

Para o dimensionamento do pavimento flexível foi utilizado o software Alize-Lcpc, analisando-se várias soluções de dimensionamento para as quais foram comparadas as extensões instaladas com as admissíveis para cada camada constituinte do pavimento.

Propôs-se também a alteração de um pavimento betuminoso existente numa via de acesso à EN222 devido ao seu estado de degradação, adotando-se o mesmo tipo de pavimento determinado para a via principal.

Iniciou-se um estudo de drenagem de águas pluviais, que devido à falta de tempo e dada a atual extensão do trabalho não foi possível terminar, ficando-se pela determinação do caudal de ponta, faltando determinar elementos como os sumidouros, coletores e drenagem transversal.

Com o intuito de finalizar o trabalho foi realizado um estudo e projeto de sinalização e segurança, onde se integraram as marcas rodoviárias e a sinalização vertical necessária para tornar o traçado da via cómodo e seguro para os utentes, sejam eles condutores ou peões.

Conhecendo de antemão a dificuldade da elaboração de um trabalho deste género foram encontradas alguns obstáculos, como as condicionantes anteriormente apresentadas.

Uma dificuldade relevante foi a impossibilidade da C.M.C. fornecer apoio nos estudos necessários para a realização de um trabalho desta natureza, como estudos geológicos, geotécnicos e hidrológicos.

Outra limitação foi a área fortemente condicionada por habitações e serviços, uma vez que estas se encontram muito próximas do trajeto da via, sendo difícil encontrar uma solução limpa como se fosse em meio rural.

7.2. Desenvolvimentos Futuros

As recomendações para desenvolvimentos futuros deste trabalho passam pela elaboração dos estudos anteriormente expostos, os quais não foram possíveis de realizar.

Os estudos geológicos, geotécnicos e hidrológicos permitiriam uma melhor definição do material constituinte do solo e a sua avaliação na utilização como material de suporte, pelo que se no futuro for possível estes elementos são de grande importância.

A realização de ensaios ao pavimento a reabilitar, como retirar carotes, também seria bastante significativa, uma vez que se poderia avaliar se apenas as camadas superficiais do pavimento, ou todas, necessitariam de intervenção.

Num trabalho do género será também importante obter um plano de expropriações, que não foi possível devido à escassa informação sobre os proprietários dos terrenos envolventes ao traçado da via.

Deve-se terminar o estudo de drenagem de águas pluviais dimensionando os elementos em falta.

Era importante a realização de medições e caderno de encargos englobando o que já foi determinado e o que é passível de desenvolvimentos futuros, assim como a realização de obras acessórias.

Bibliografia

- [1] Alize-Lcpc. Disponível em: www.itech-soft.com/alize, data de consulta 25-03-2015.
- [2] Alize-Lcpc. Disponível em: <http://www.lcpc.fr/english/products/lcpc-products-alize-lcpc-routes/>, data de consulta 25-03-2015.
- [3] PIRES DA COSTA, A.H.; GONÇALVES MACEDO, J.M., (Dezembro de 2008) Engenharia de Tráfego: *Conceitos Básicos*, Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- [4] Sebenta de Vias de Comunicação(2012), ISEP.
- [5] Transportation Research Board: “Highway Capacity Manual – HCM 2000”. Washington D.C., 2000.
- [6] PINTO MOREIRA, A.M., (Dezembro de 2000) *Avaliação de Traçados Rodoviário*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [7] Disposição Normativas: “Revisão da NORMA DE TRAÇADO”, Novembro de 2010. Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias IP.
- [8] Santos, Picado Santos et al. (2006), *Pavimentos Rodoviários*, Coimbra: ALMEDINA.
- [9] Apontamentos de Pavimentos Rodoviários e Aeroportuários (2014-2015), ISEP.
- [10] Junta Autónoma de Estradas (1995), *Manual de Conceção de Pavimentos*, Lisboa: JAE.
- [11] PIRES DA COSTA, A.H.; GONÇALVES MACEDO, J.M.; MAIA SECO, A.J., (Dezembro de 2008) *Peões*, Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- [12] Instituto das Estradas de Portugal (2001), *Manual de drenagem superficial em vias de comunicação*, IEP.
- [13] NUNES BATISTA, C.M, (Março de 2010) *Drenagem Superficial de Vias de Comunicação*, Projeto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização de Vias de Comunicação e Transportes, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

[14] Apontamentos de Infraestruturas de Transportes (2013-2014), ISEP

[15] DECRETO REGULAMENTAR n.º23/95, D.R.I SÉRIE B 194 (23-08-1995), 5284-5319

[16] RODRIGUES, C.M.; ALMEIDA ROQUE, C.; GONÇALVES MACEDO, J.M., (Dezembro de 2008) *Sinalização Rodoviária*, Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.

[17] Junta Autónoma de Estradas, Normas de Marcas Rodoviárias, Lisboa: JAE.

[18] Junta Autónoma de Estradas, *Normas de Interseções*, Lisboa: JAE.

[19] BASTOS SILVA, A.M.; MAIA SECO, A.C.; GONÇALVES MACEDO, J.M., (Dezembro de 2008) *Interseções Prioritárias*, Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.

[20] BASTOS SILVA, A.M.; MAIA SECO, A.J., (Dezembro de 2008) *Rotundas*, Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.

[21] Weatheronline. Disponível em:

<http://www.weatheronline.pt/weather/maps/city?LANG=pt&UP=0&WMO=08560&CONT=ptpt&NOREGION=1&CEL=C&LAND=PO&LEVEL=150&ART=MAX&R=150>, data de consulta 02-05-2015.

PORDATA. Disponível em:

<http://www.pordata.pt/Portugal/Temperatura+m%C3%A9dia+do+ar+%28m%C3%A9dia+anual%29-1067>, data de consulta 02-05-2015.

[22] Apontamentos de Gestão de Tráfego e Sinalização (2014-2015), ISEP.

Anexos

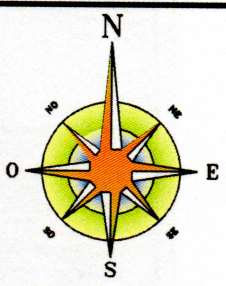
Anexo 1 – Plantas da Câmara Municipal de Cinfães



PLANEAMENTO, GESTÃO URBANÍSTICA, OBRAS MUNICIPAIS E PARTICULARES

Extrato da Carta do P.D.M., aprovado em Resolução do Conselho de Ministros nº 102/94, de 17 de Outubro

Obs.: 1) O Local da obra deverá ser indicado com rigor e a cor bem visível
2) O presente extrato é válido por um ano



MUNICÍPIO DE CINFAES

Escala:

0m 100m m

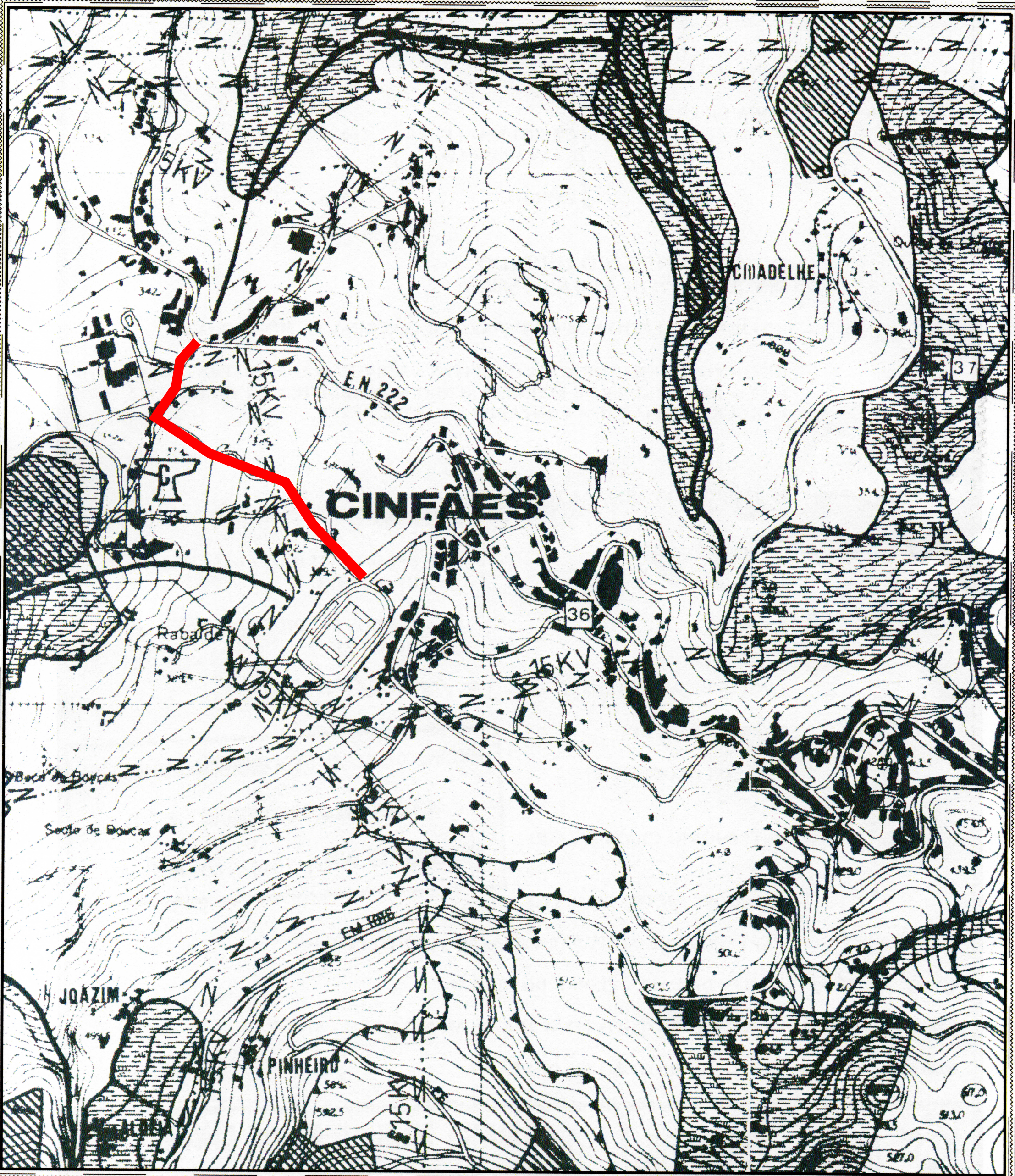
Nome: _____

Funcionário(a)

Data:
201__/__/__

Local: _____ Freguesia: _____

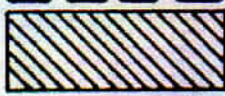
Planta de Condicionantes Planta de Ordenamento N° Folha: 21



LEGENDA



RESERVA AGRÍCOLA NACIONAL (RAN)
DEC. LEI 196/89 DE 11 DE JUNHO, DEC. LEI 451/82 DE 16 DE NOVEMBRO E APROVADA POR PORTARIA N°305/93 DE 16 DE MARÇO



RESERVA ECOLÓGICA NACIONAL (REN)
DEC. LEI 93/90 DE 19 DE MARÇO E DEC. REG. 213/92 DE 12 DE OUTUBRO.

CLASSIFICAÇÃO DAS ALBUFEIRAS DE ÁGUAS PÚBLICAS:

DEC. LEI 502/71 DE 18 DE NOVEMBRO E
DEC. REG. 2/88 DE 20 DE JANEIRO

--- ZONA RESERVADA 50 m

--- ZONA DE PROTECÇÃO }
 CRESTUMA- LEVER } 500 m
 CARRAPATELO }
 FREIGIL } 200 m

DOMÍNIO PÚBLICO HÍDRICO

DEC. LEI 468/71 DE 5 DE NOVEMBRO

- RIO DOURO - LEITO E 50 m DE MARGEM CONTADA NA HORIZONTAL
- RESTANTES LINHAS DE ÁGUA - SUJEITAS A SERVIDÃO ADMINISTRATIVA O LEITO E 10 m DE LARGURA DE MARGEM SENDO NON-AEDIFICANDI O LEITO E 5 m DE LARGURA DE MARGEM CONTADOS A PARTIR DESTA.



PERÍMETRO FLORESTAL DE MONTEMURO - DEC. LEI N° 1971 DE 15 DE JUNHO DE 1938

DEC. N° 39774 DE 18 DE AGOSTO DE 1954
LEI DOS BALDIOS - DEC. N° 39/76 DE 19 DE JANEIRO



BALDIOS

- LEI DOS BALDIOS - DEC. N° 39/76 DE 19 DE JANEIRO

Z...Z...Z... LINHAS DE ALTA TENSÃO — (Z/Z/Z/: PREVISTA)



SUBESTAÇÕES EDP



MARCOS GEODÉSICOS



PATRIMÓNIO CLASSIFICADO



ESTAÇÕES DE TRATAMENTO



CAPTAÇÕES DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO



LIMITE DA BACIA VISUAL DO DOURO



LIMITE DO BIOTOPO 143 SERRA DE MONTEMURO - BIGORNE



LIMITE DO BIOTOPO 180 RIO PAIVA

MINISTÉRIO DO PLANEAMENTO E DA ADMINISTRAÇÃO DO TERRITÓRIO
DIRECÇÃO-GERAL DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO
REGISTO N.º 07.18.04. sob A.94.PD.



PROCIVIL

CONSULTORES TÉCNICOS DE ENGENHARIA, LDA

CÂMARA MUNICIPAL DE CINFÃES

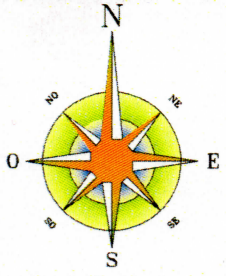
PLANO DIRECTOR MUNICIPAL



PLANEAMENTO, GESTÃO URBANÍSTICA, OBRAS MUNICIPAIS E PARTICULARES

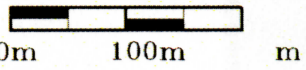
Extrato da Carta do P.D.M., aprovado em Resolução do Conselho de Ministros n.º 102/94, de 17 de Outubro

Obs.: 1) O Local da obra deverá ser indicado com rigor e a cor bem visível
2) O presente extrato é válido por um ano



MUNICÍPIO DE CINFAES

Escala:



Nome: _____

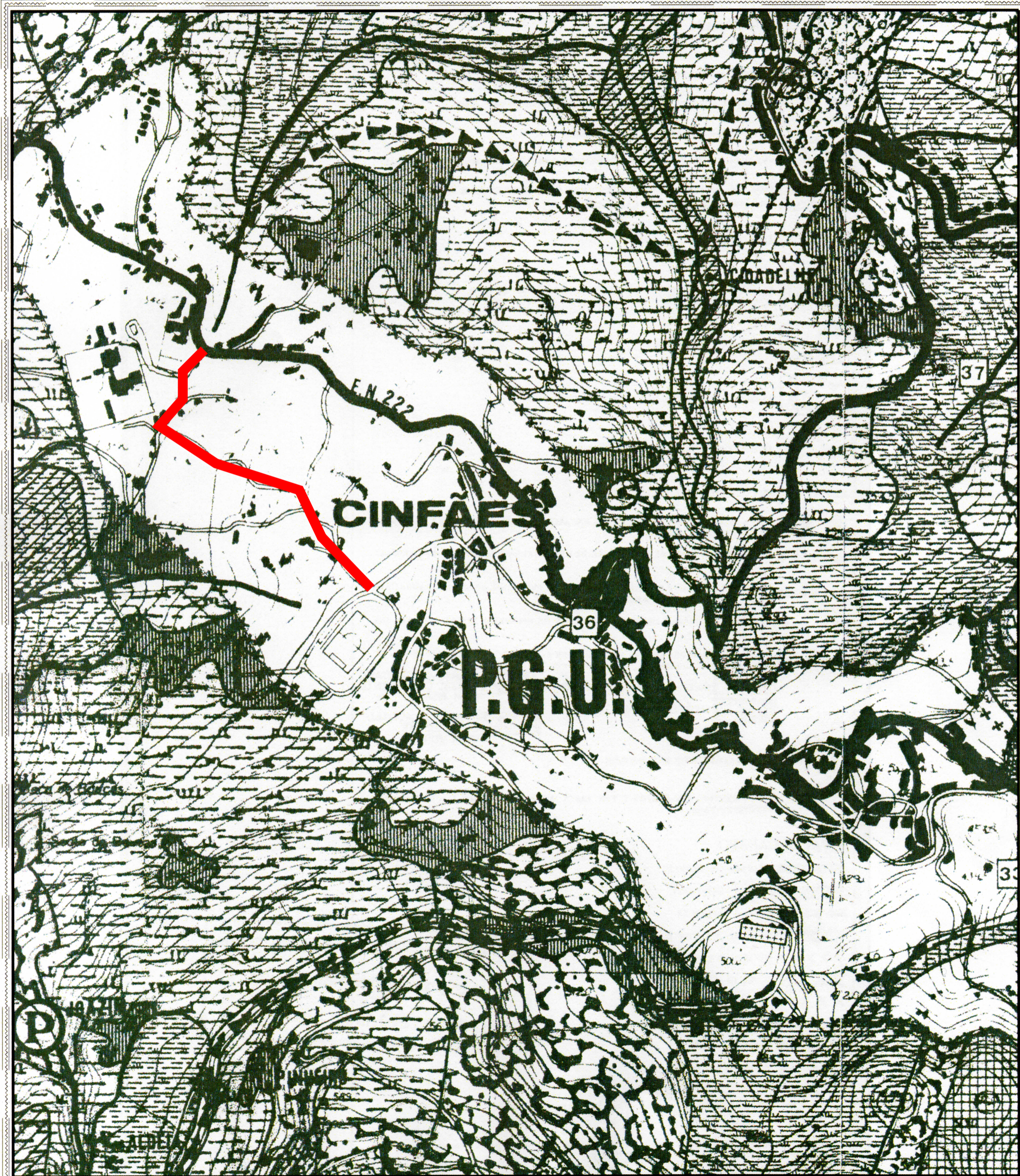
Funcionário(a) _____

Data:

Local: _____ Freguesia: _____

2014/___/___

Planta de Condicionantes Planta de Ordenamento N.º Folha: 21




 **AGLOMERADOS URBANOS**


 **AGLOMERADOS RURAIS**

ESPAÇOS INDUSTRIAIS E DE ARMAZENAMENTO:

 **ZONA INDUSTRIAL**

 **ÁREA DE RECURSOS GEOLÓGICOS - PEDREIRAS E AREIROS**


ESPAÇOS AGRÍCOLAS:

 **RESERVA AGRÍCOLA NACIONAL (RAN)**


 **CAMINHOS AGRÍCOLAS APROVADOS NO ÂMBITO DO PEDAP - RAN**

 **ESPAÇOS AGRÍCOLAS COMPLEMENTARES**


 **ÁREAS DE RAN COINCIDENTES COM REN (INFILTRAÇÃO MÁXIMA OU CABECEIRAS)**


 **ESPAÇOS AGRÍCOLAS COMPLEMENTARES COINCIDENTES COM ÁREAS DE REN (INFILTRAÇÃO MÁXIMA OU CABECEIRAS)**

ESPAÇOS FLORESTAIS:


 **FLORESTA DE PROTECÇÃO (EXCLUSIVA PARA ÁREAS DE REN)**


 **FLORESTA DE PRODUÇÃO**


 **FLORESTA DE PRODUÇÃO CONDIÇÃOADA**


 **PERÍMETRO FLORESTAL DE MONTEMURO**


ESPAÇOS NATURAIS E CULTURAS:

 **FAIXA MARGINAL DO RIO DOURO DE ESCAMARÃO A CARRAPATELÃO E DE PORTO ANTIGO À FOZ DO CABRUM**


 **PROPOSTA DE LIMITE DE ÁREA PROTEGIDA DE INTERESSE REGIONAL - BIÓTIPO 180 RIO - PAIVA**

 **PROPOSTA DE LIMITE DE ÁREA PROTEGIDA DE INTERESSE REGIONAL BARRAGEM CARRAPATELO A PORTO ANTIGO**

 **PROPOSTA DE LIMITE DE ÁREA PROTEGIDA DE INTERESSE LOCAL DO VALE DO RESTANÇA**

 **LIMITE DE ÁREA PROTEGIDA DE INTERESSE REGIONAL - BIÓTIPO 143 SERRA DE MONTEMURO - BIGORNE**

 **INCULTO/DEGRADADO EXISTENTE**

 **INCULTO/DEGRADADO ACTUAL COINCIDENTE COM REN**

 **FLORESTA ACTUAL**

 **FLORESTA ACTUAL COINCIDENTE COM REN**



ZONAS COM VALOR PATRIMONIAL

14

MONUMENTOS EXISTENTES (VER LISTA ANEXA - VOLUME I - ELEMENTOS FUNDAMENTAIS)

ESPAÇOS CANAIS:

 **ESTRADAS NACIONAIS**

 **NÍVEL I - EXISTENTE**

 **NÍVEL I - PREVISTA**

 **NÍVEL II - EXISTENTE**

 **NÍVEL II - PREVISTA**

 **NÍVEL III - EXISTENTE**

 **NÍVEL III - PREVISTA**

 **NÍVEL IV - PREVISTA**

 **NÍVEL V - EXISTENTE**

 **NÍVEL V - PREVISTA**

MINISTÉRIO DO PLANEAMENTO E DA ADMINISTRAÇÃO DO TERRITÓRIO
 Direcção-Geral do Ordenamento do Território
 REGISTO Nº 01.78.04.00BA.94.ED.



PRAIA FLUVIAL



TELEFÉRICO



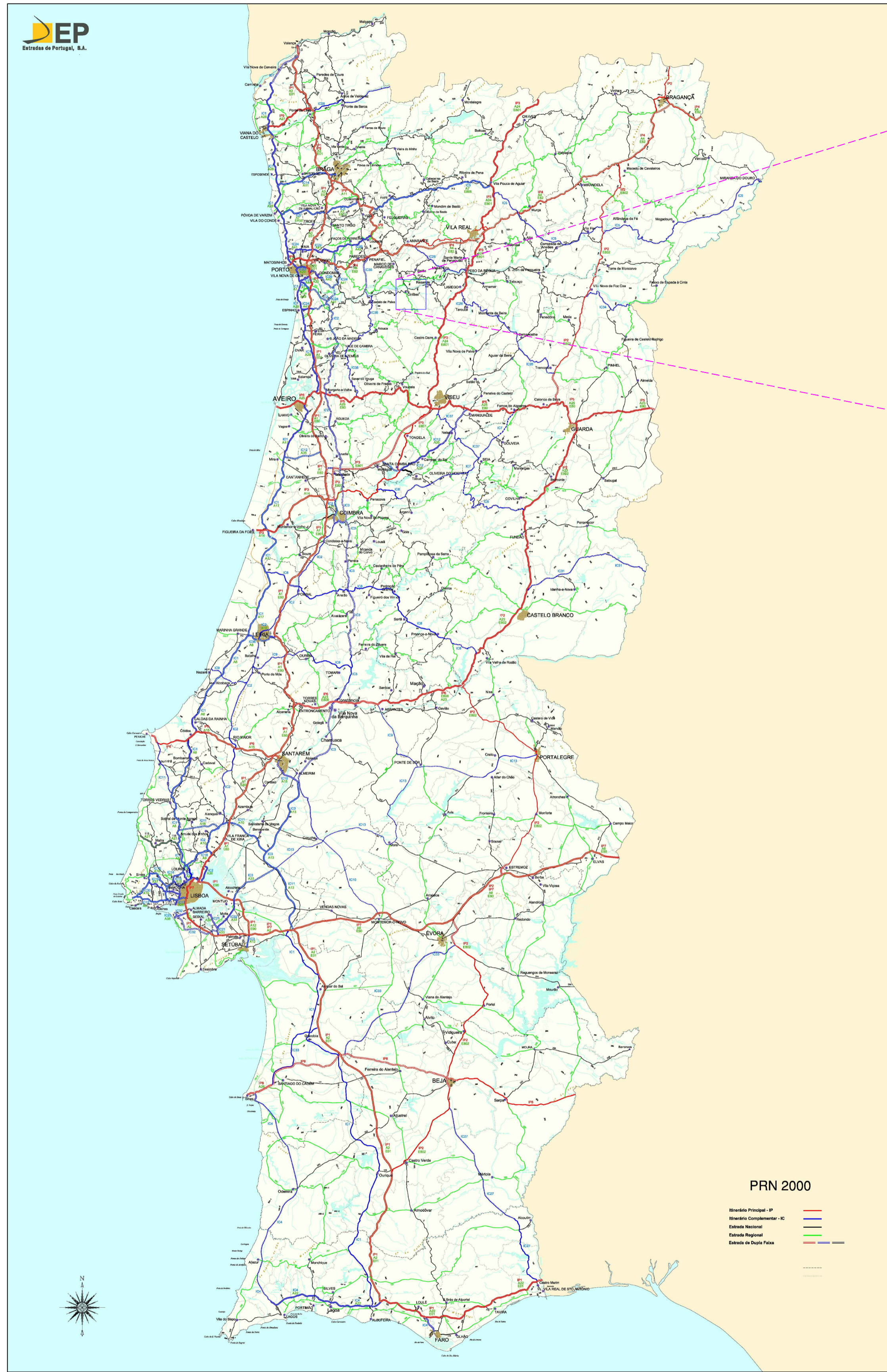
NÚCLEO TURÍSTICO



CAIS DE ACOSTAGEM

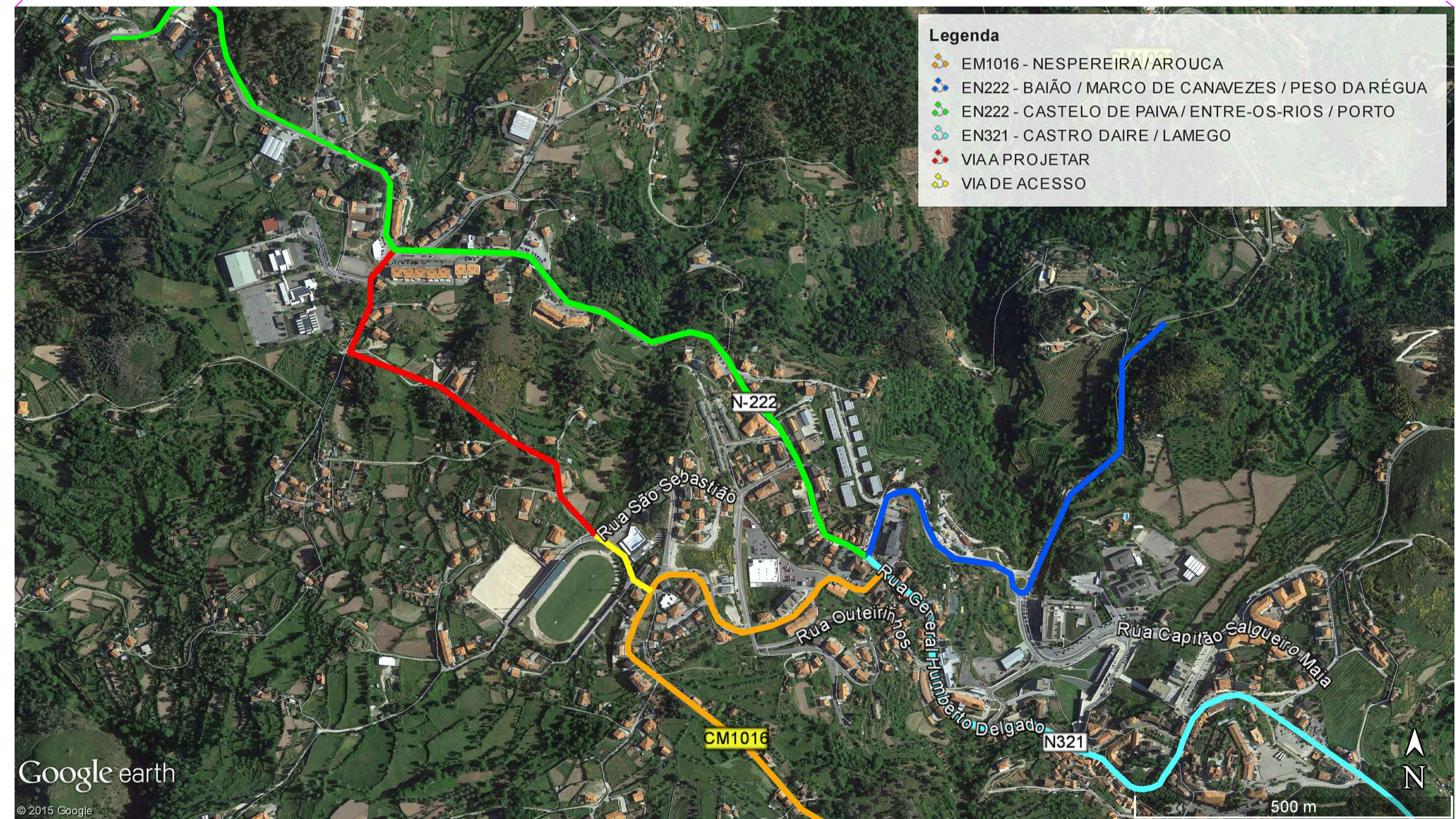
(Handwritten signature)

Anexo 2 – Planta de localização/Esboço corográfico



Localização no mapa de Portugal

Localização na imagem aérea (google earth 2015)



Localização na imagem aérea (google earth 2015)

Este desenho é propriedade do aluno Bruno Pinto (1081752), matriculado no Curso de Engenharia Civil - Infraestruturas no ISEP e encontra-se protegido pelos direitos de autor e direitos conexos, não podendo ser utilizado, reproduzido por todo ou em parte, ou comunicado a terceiros sem a expressa autorização.

Requerente

Câmara Municipal de Cinfaes

Projectista

Bruno Rafael da Silva Pinto - 1081752
ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto

Designação do projecto

Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfaes

Escala

s/ escala

Especialidade

Vias de Comunicação

Fase

Projecto de Execução

Emissões/reviões		Projecto		Desenho		Aprovou	
Rev.	Data	Descrição	Projecto	Desenho	Aprovou		

Título

Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfaes

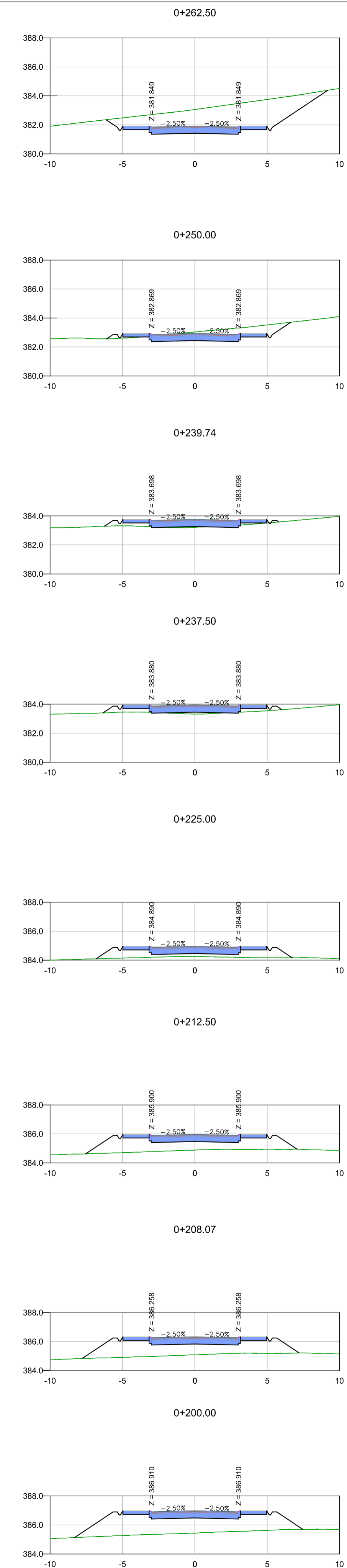
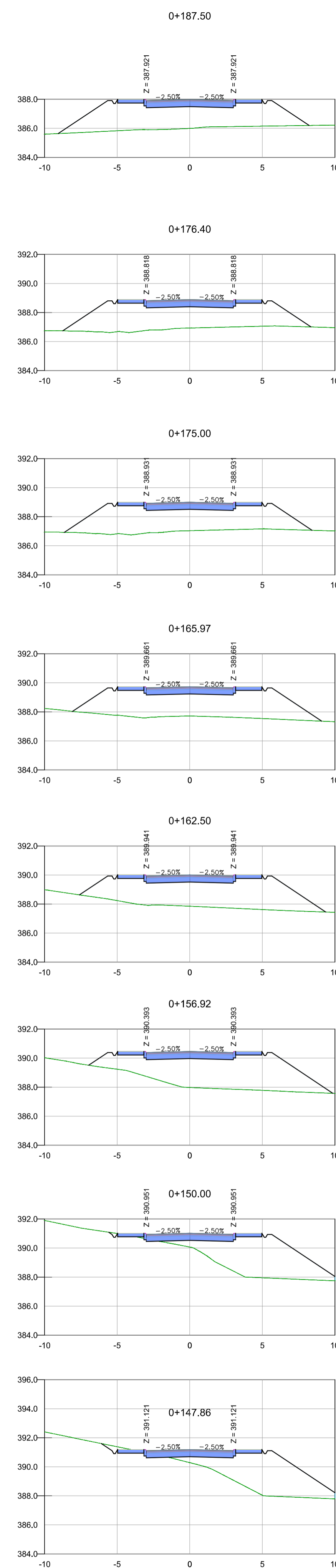
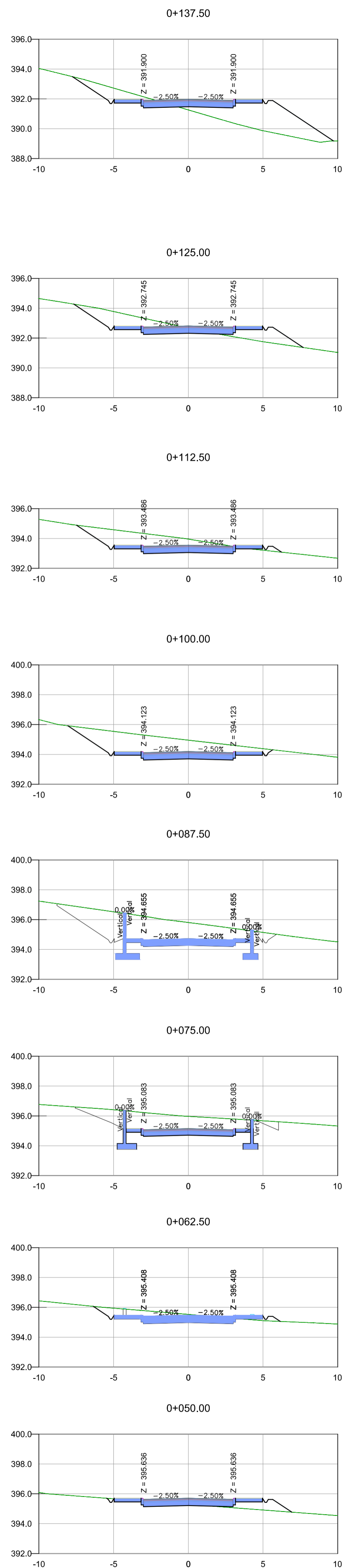
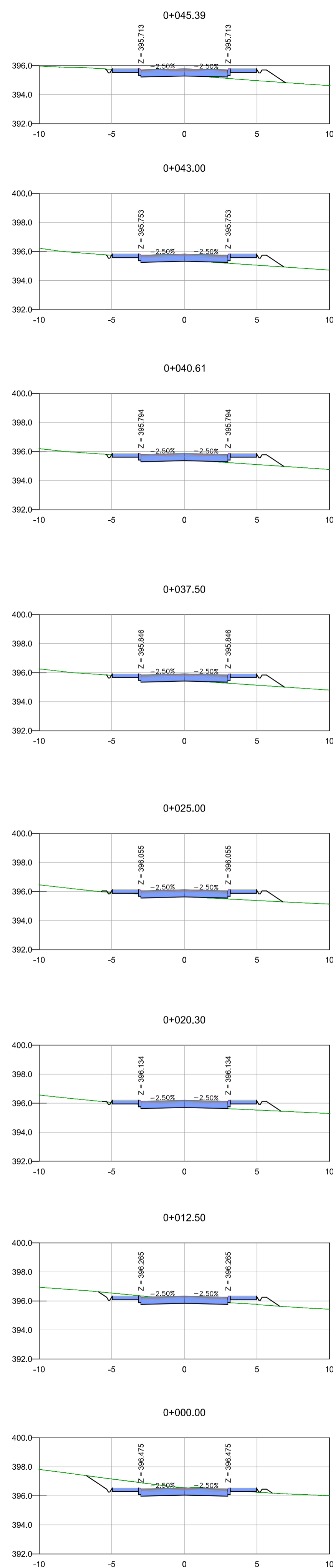
Esboço Corográfico

Planta de Localização e Enquadramento Viário



Nº Projecto		
Nº do Desenho	Data	Fase / Revisão
001	OUT/2015	R0

Anexo 3 – Planta de traçado e perfil longitudinal

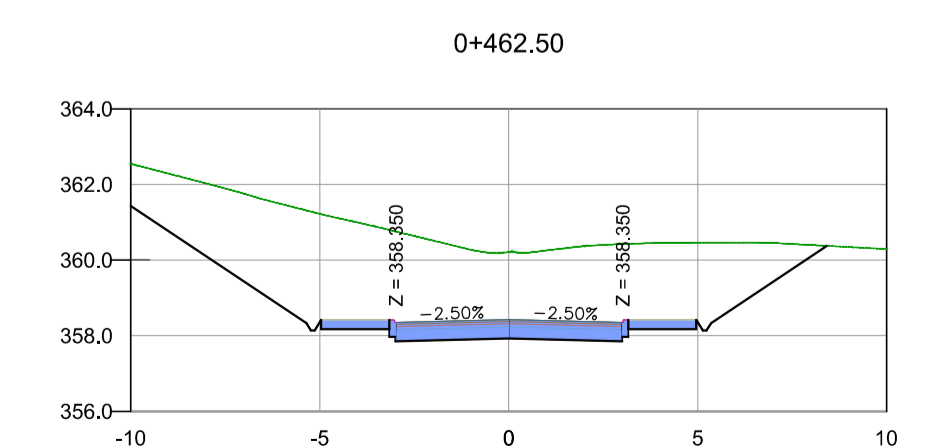
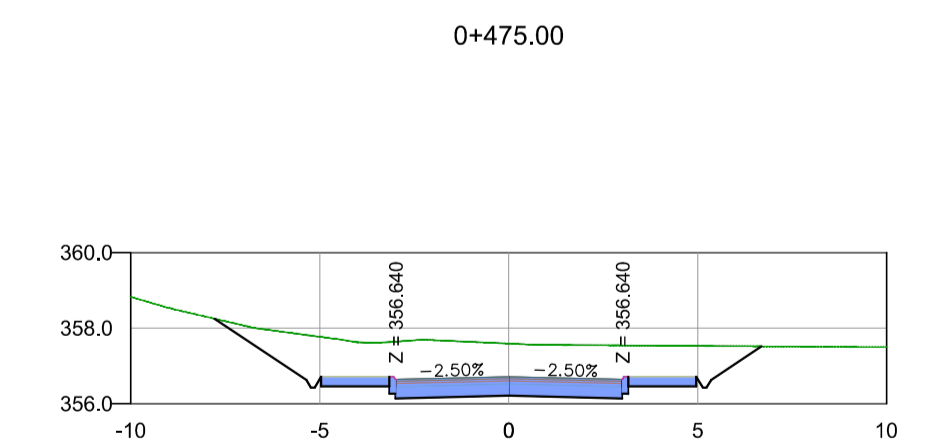
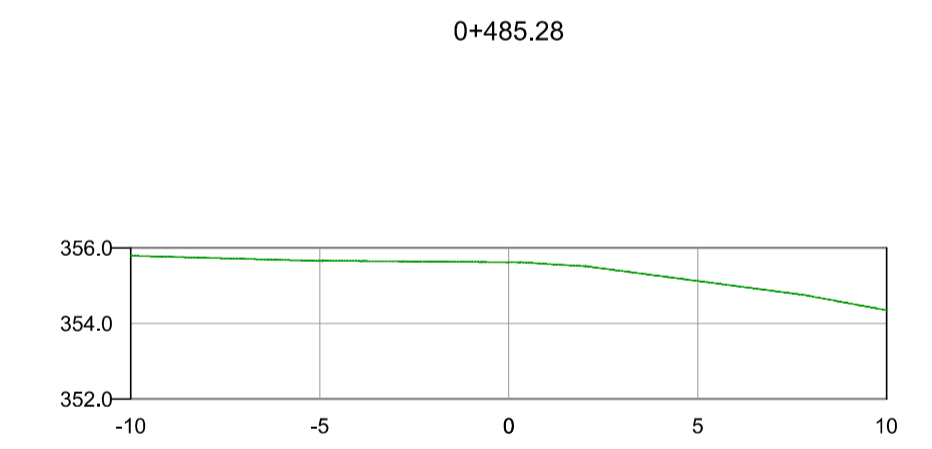
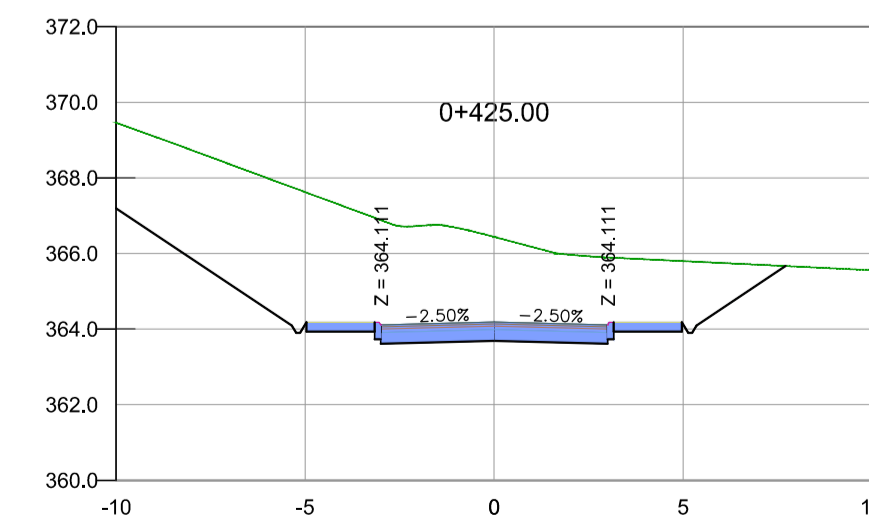
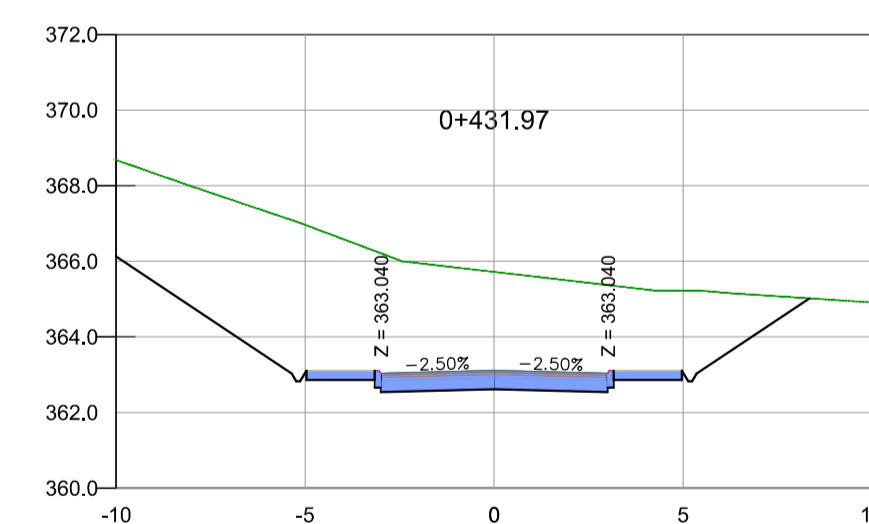
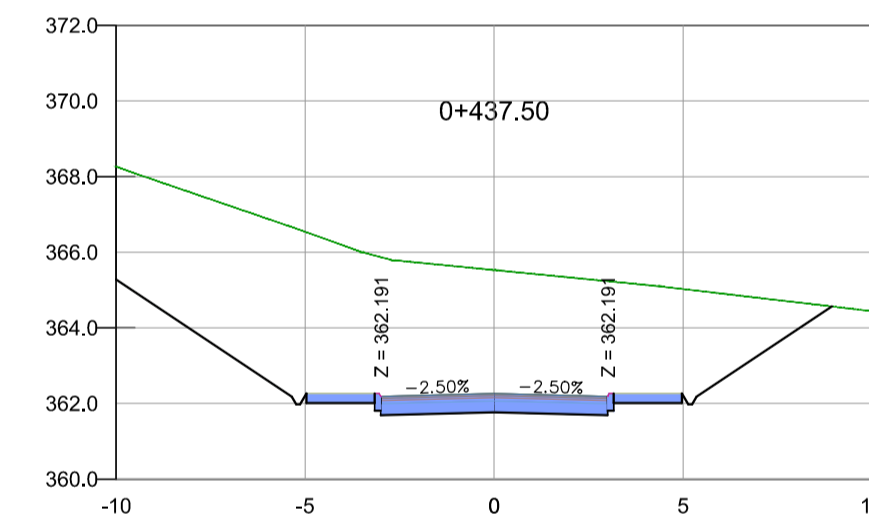
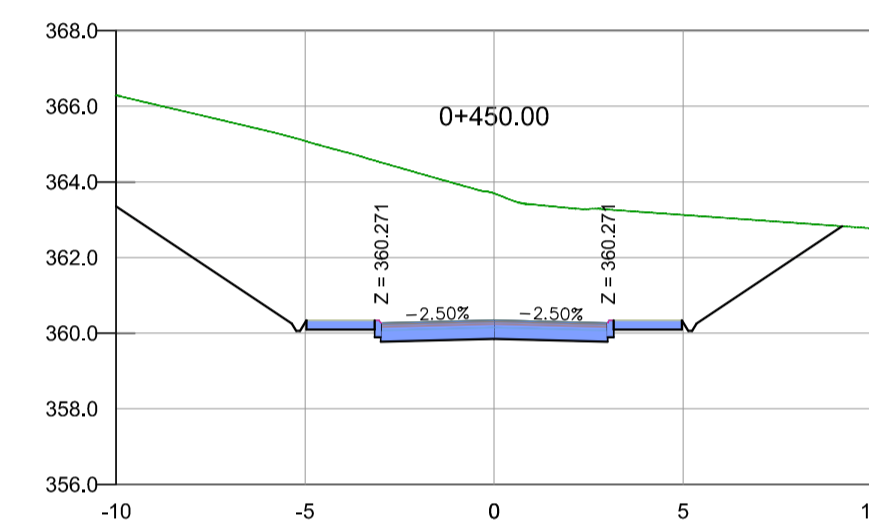
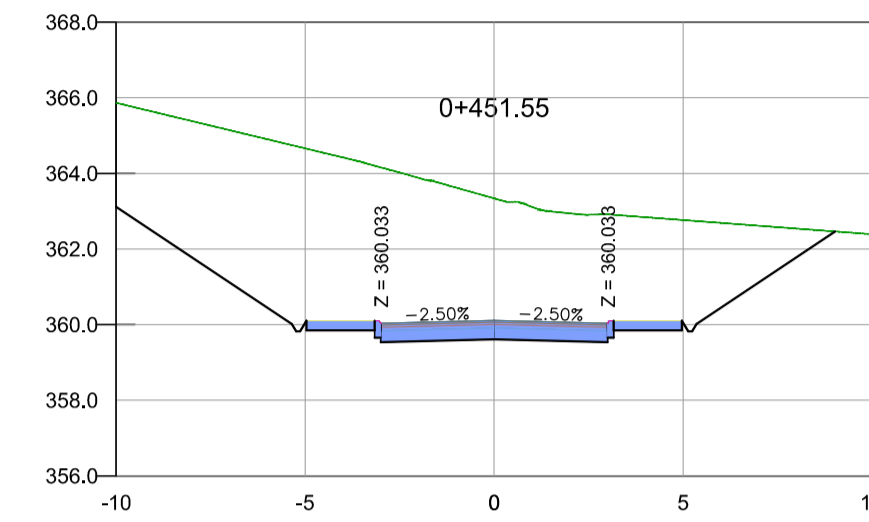
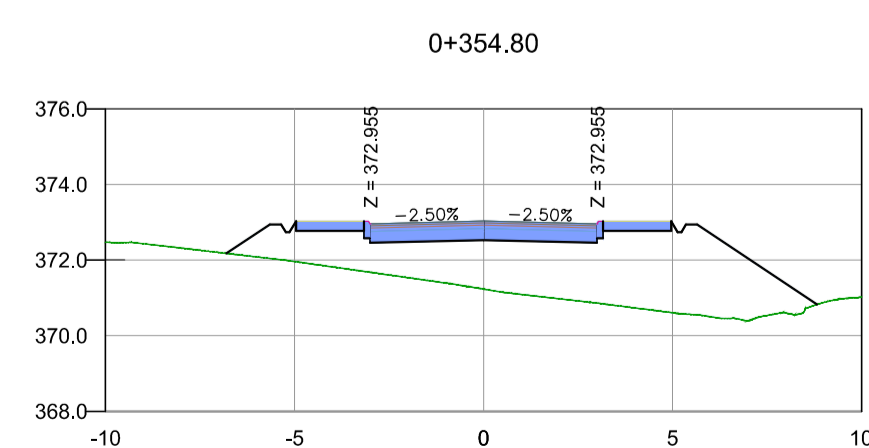
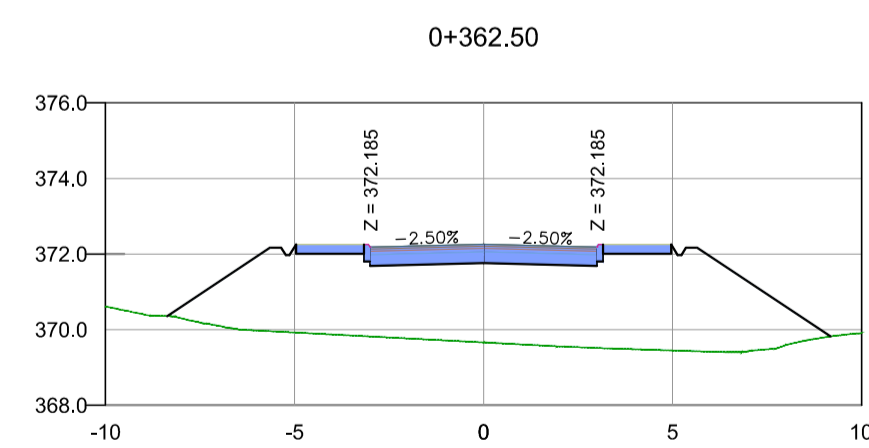
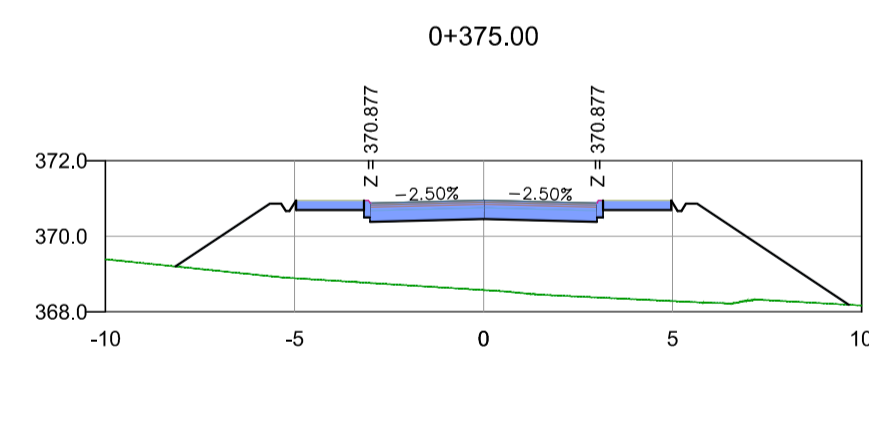
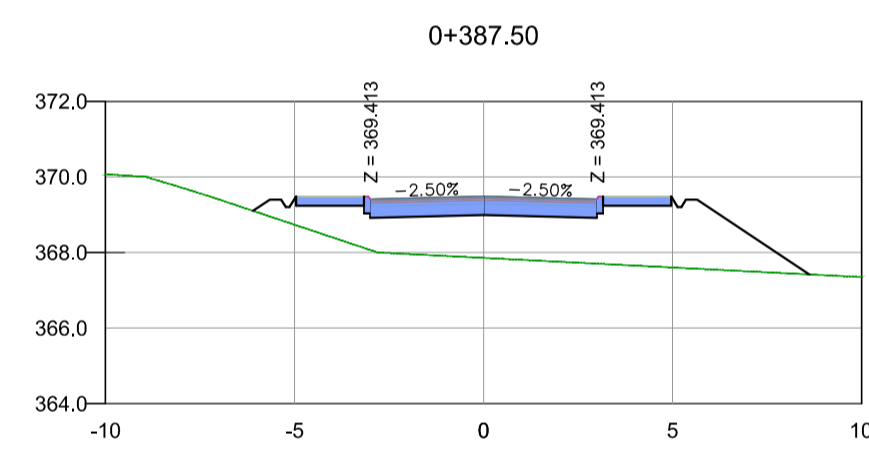
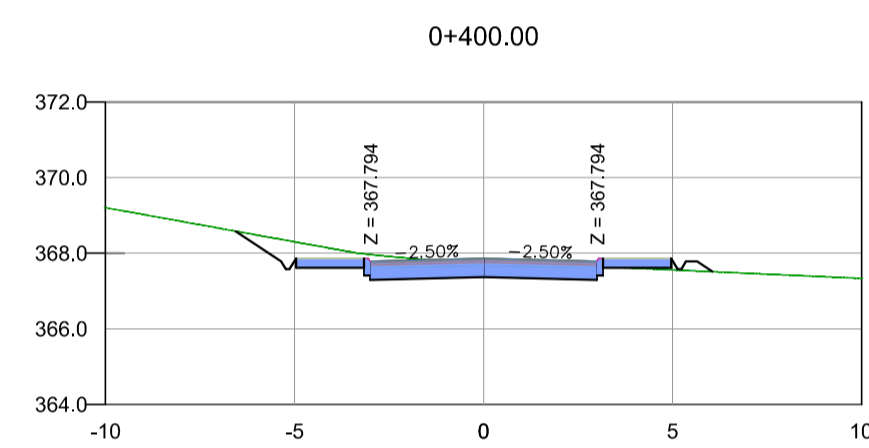
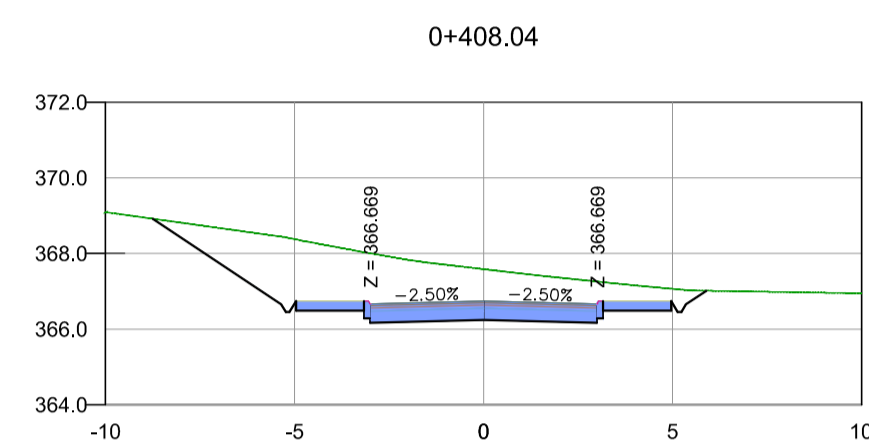
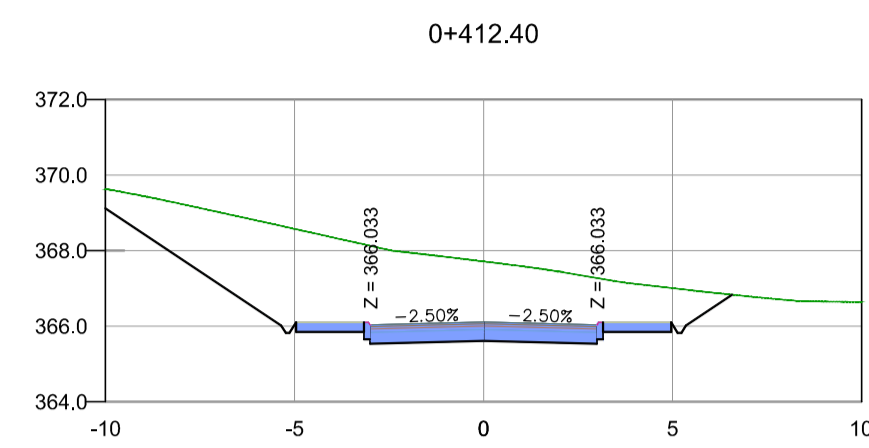
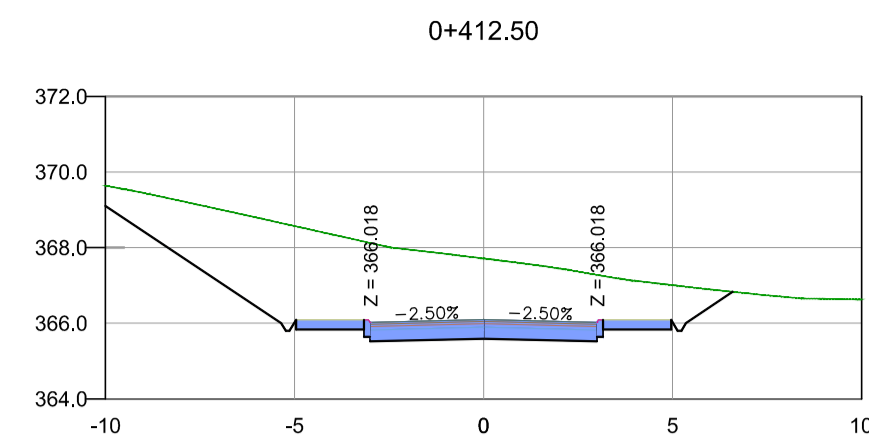
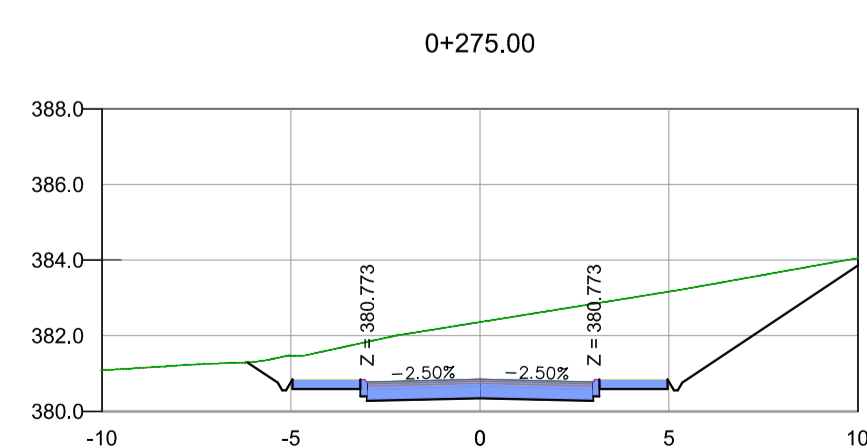
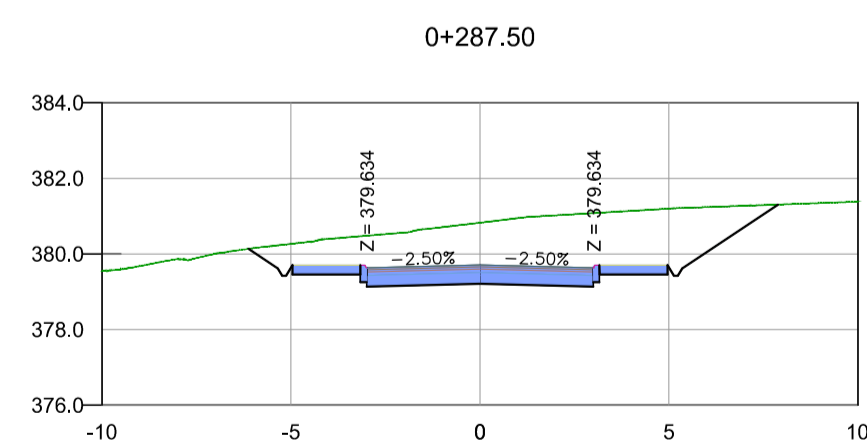
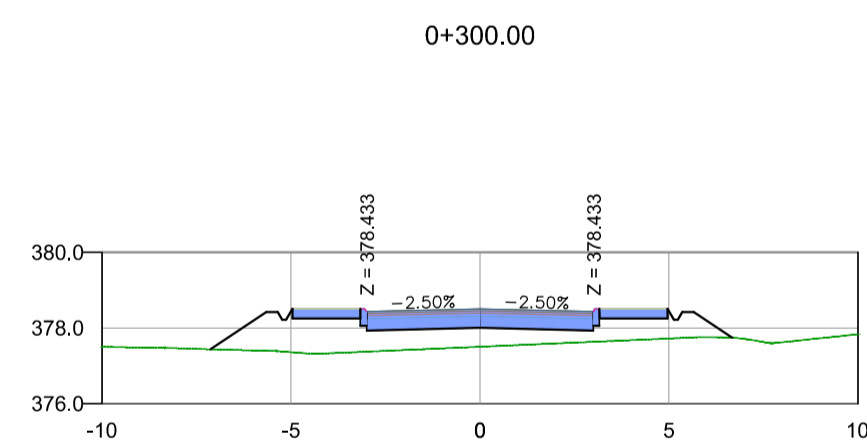
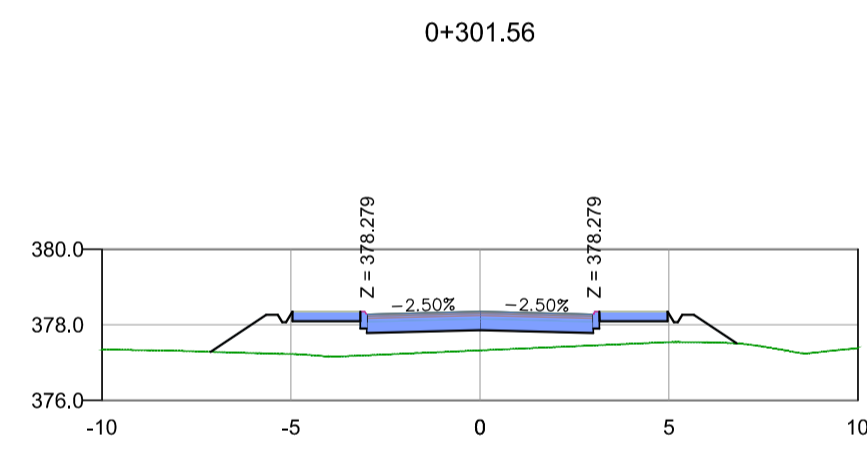
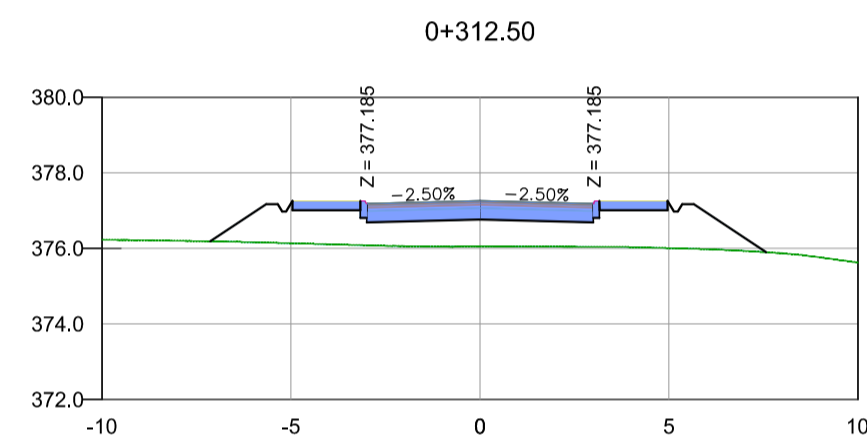
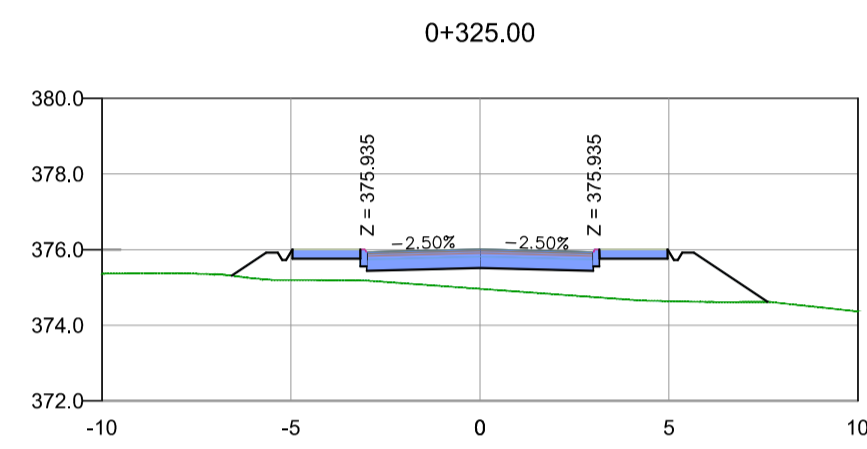
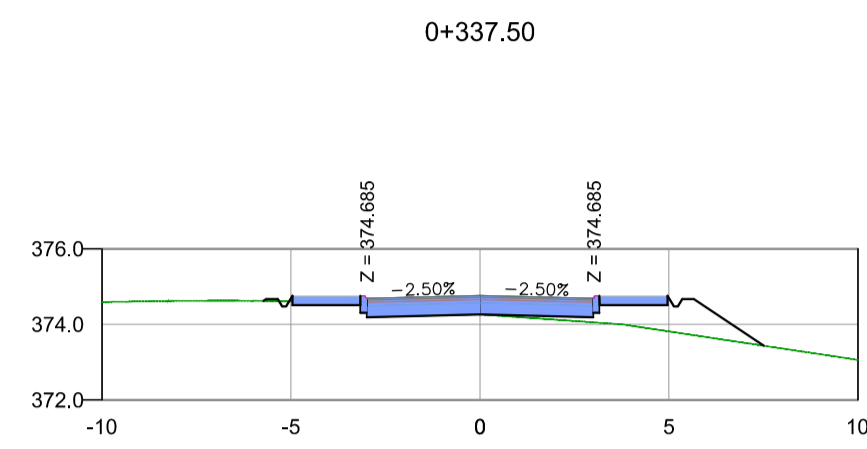
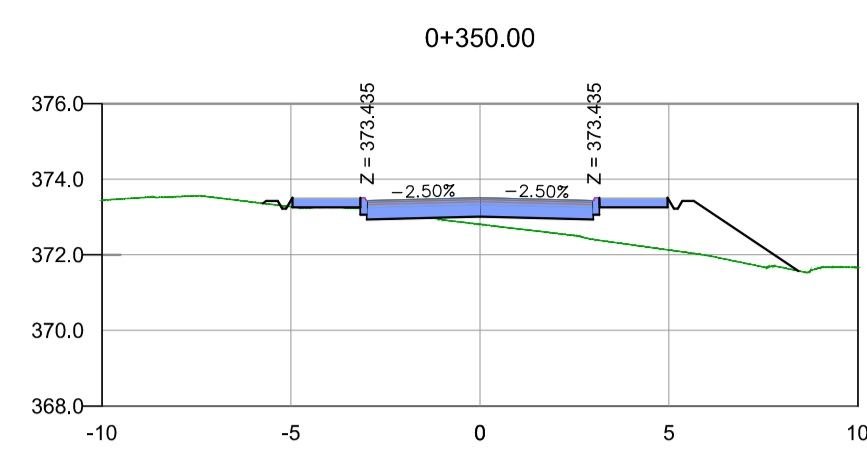
Anexo 4 – Perfis transversais





Este desenho é propriedade do alano Bruno Pinto (1081752), matriculado no ISEP e encontra-se protegido pelos direitos de autor e direitos conexos, não podendo ser utilizado, reproduzido por todo ou em parte, ou comunicado a terceiros sem sua expressa autorização.

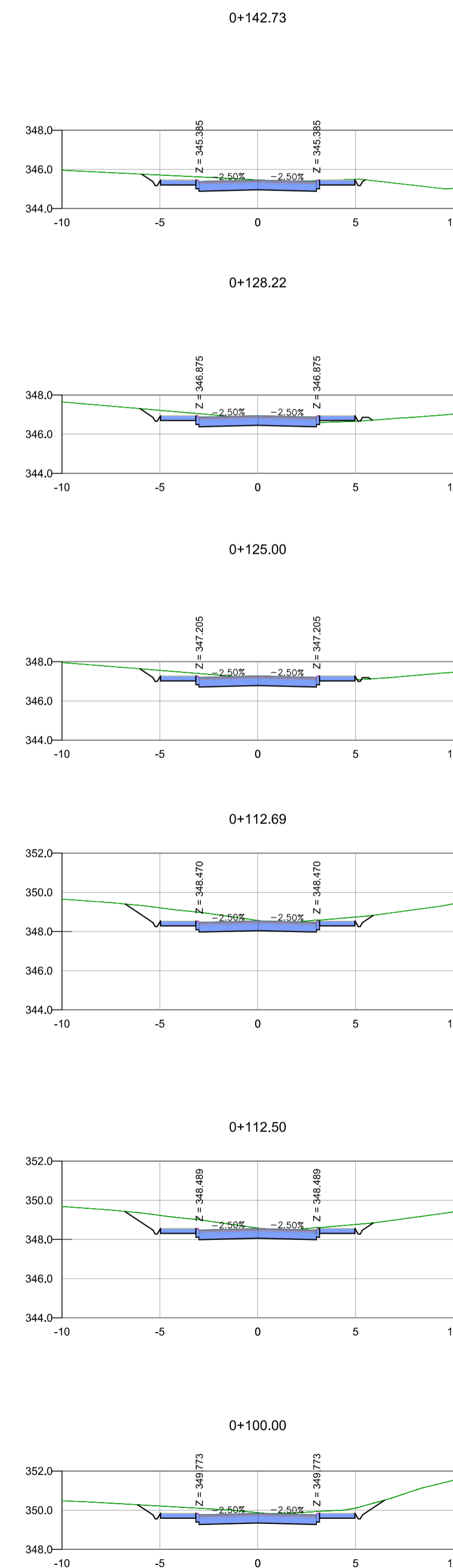
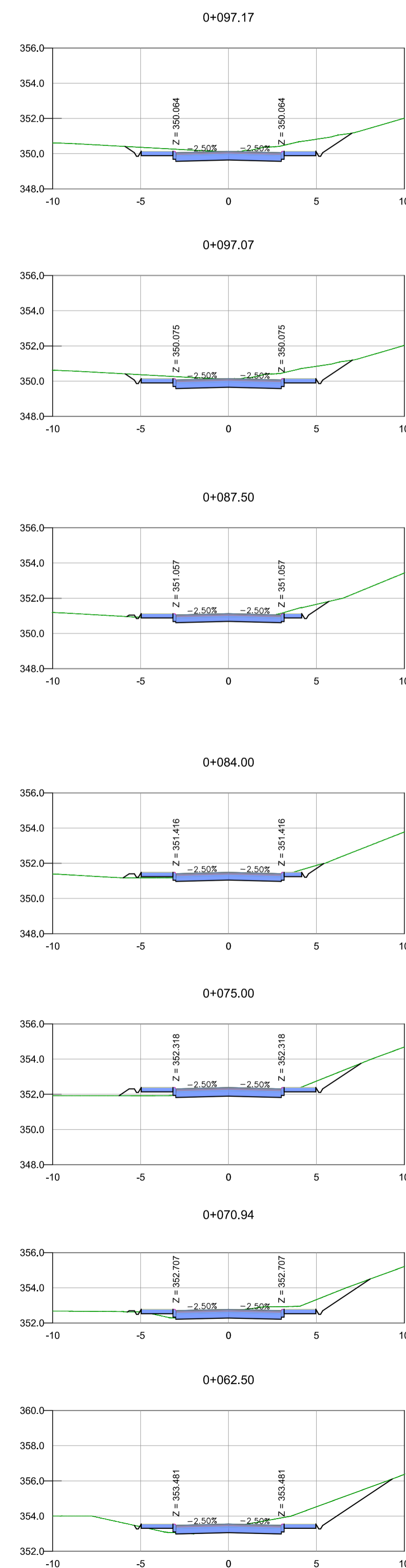
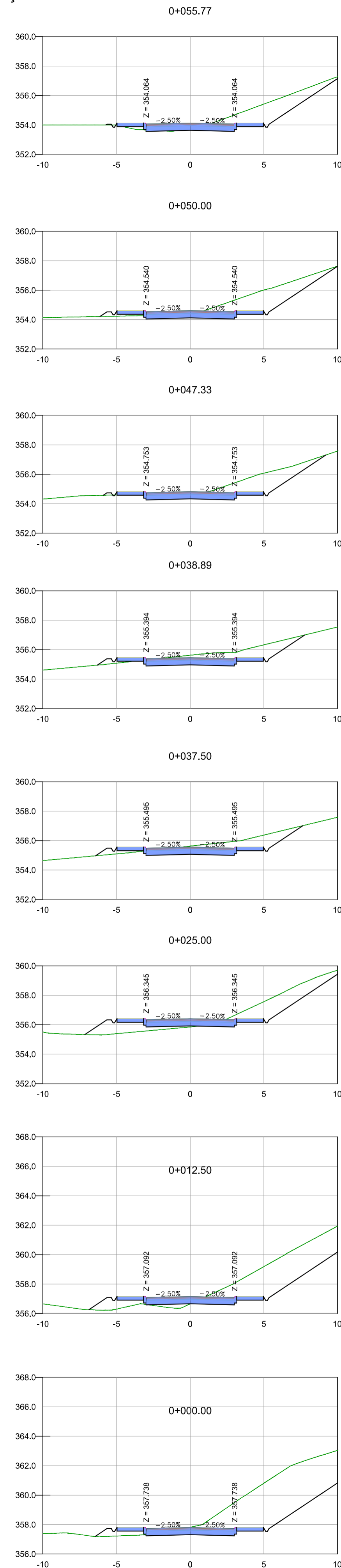
Requerente  Câmara Municipal de Cinfães	Projectista  Instituto Superior de Engenharia do Porto Bruno Rafael da Silva Pinto - 1081752 ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto	Designação do projecto Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães	Escalas 1/200 Especialidade Vias de Comunicação Fase Projecto de Execução	Emissões/revisões <table border="1"> <thead> <tr> <th>Rev.</th> <th>Data</th> <th>Descrição</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	Rev.	Data	Descrição				Título Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães Traçado Perfis Transversais	Nº Projecto PE-001-MEC-IE2015 Nº do Desenho 003-1 Data OUT/2015 Fase / Revisão R0
Rev.	Data	Descrição										

Este desenho é propriedade do iliano Bruno Pinto (1081752), matricado no Curso de Engenharia Civil - Infraestruturas no ISEP e encontra-se protegido pelos direitos de autor e direitos conexos, não podendo ser utilizado, reproduzido por todo ou em parte, ou comunicado a terceiros sem sua expressa autorização.

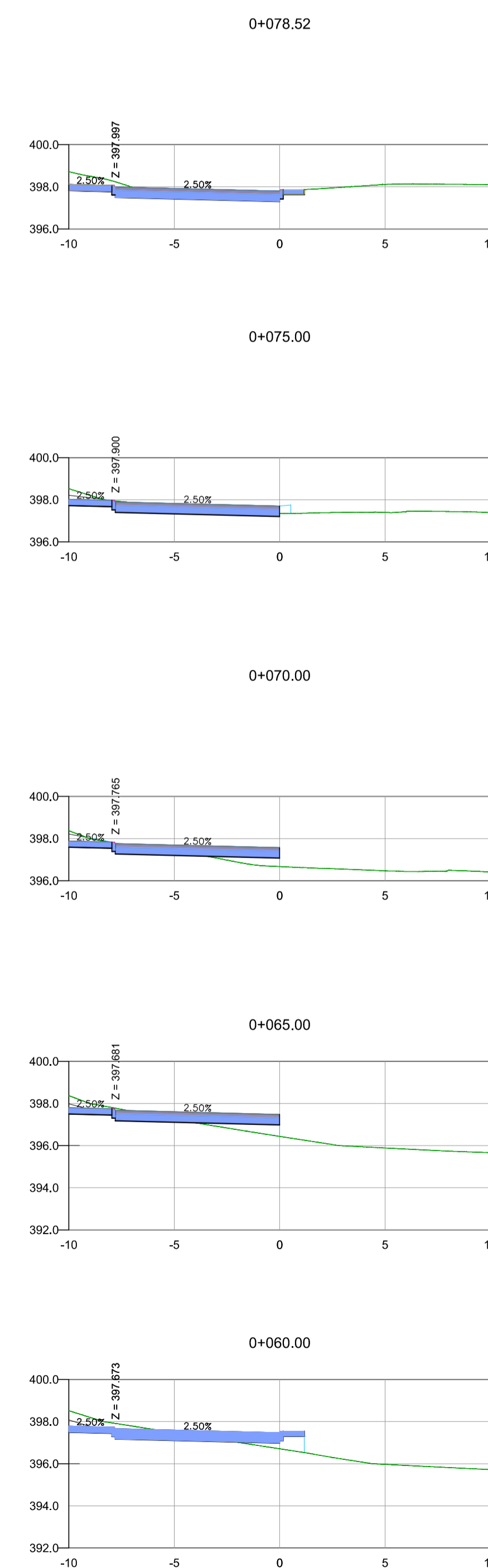
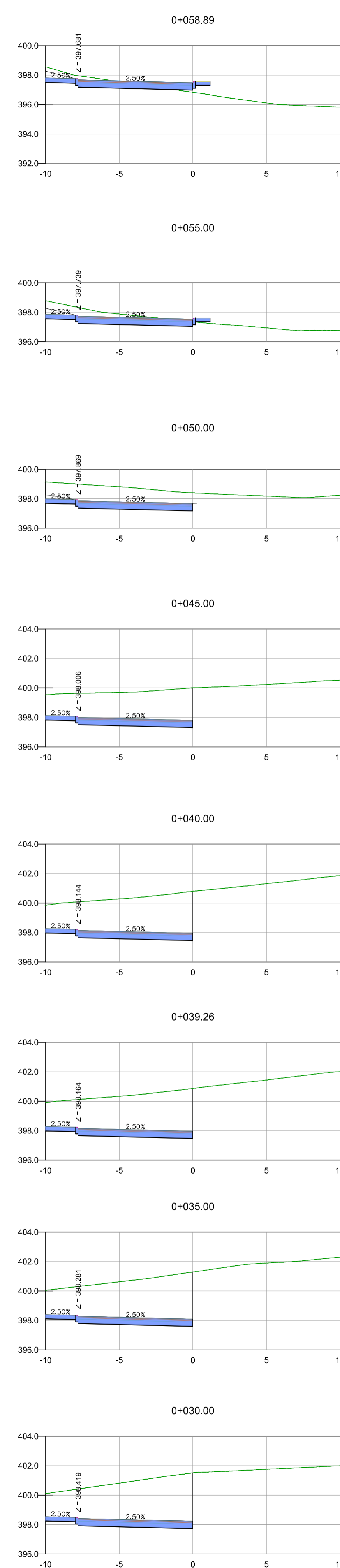
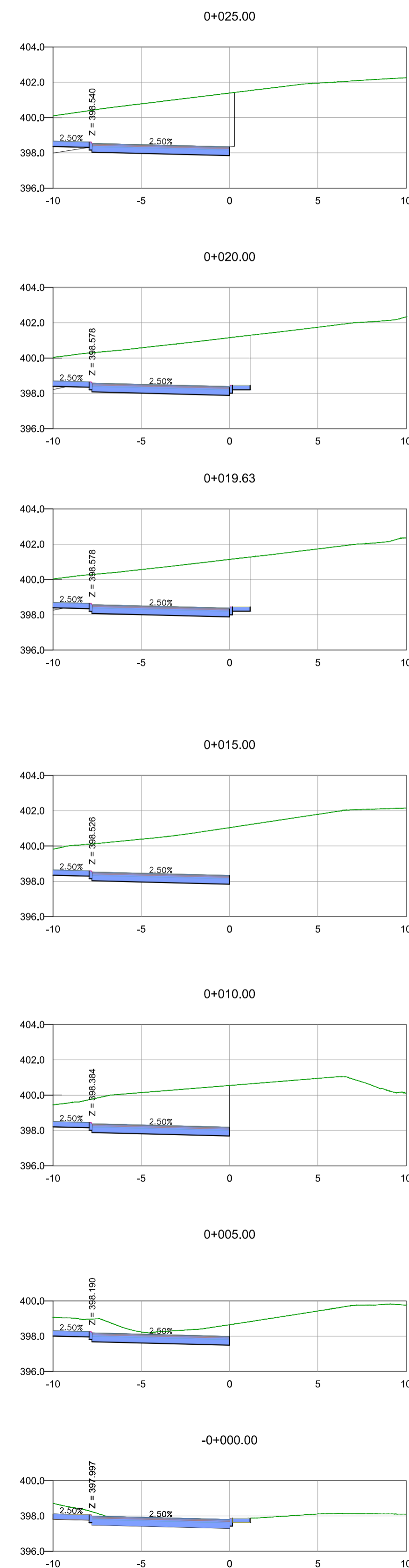


Requerente  Câmara Municipal de Cinfães	Projectista  Instituto Superior de Engenharia do Porto Bruno Rafael da Silva Pinto - 1081752 ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto	Designação do projecto Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães	Escalas 1/200 Especialidade Vias de Comunicação Fase Projecto de Execução	Emissões/revisões <table border="1"> <thead> <tr> <th>Rev.</th> <th>Data</th> <th>Descrição</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	Rev.	Data	Descrição				Título Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães Traçado Perfis Transversais	Nº Projecto PE-001-MEC-IE2015 Nº do Desenho 003-2 Data OUT/2015 Fase / Revisão R0
Rev.	Data	Descrição										

Rua de ligação à EN222




Rotunda



Este desenho é propriedade do alano Bruno Pinto (1081752), matriculado no Curso de Engenharia Civil - Infraestruturas no ISEP e encontra-se protegido pelos direitos de autor e direitos conexos, não podendo ser utilizado, reproduzido por todo ou em parte, ou comunicado a terceiros sem sua expressa autorização.

Requerente

 Câmara Municipal de Cinfães

Projectista

 Bruno Rafael da Silva Pinto - 1081752
 ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto

Designação do projecto
 Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães

Escala
 1/200
 Especialidade
 Vias de Comunicação
 Fase
 Projecto de Execução

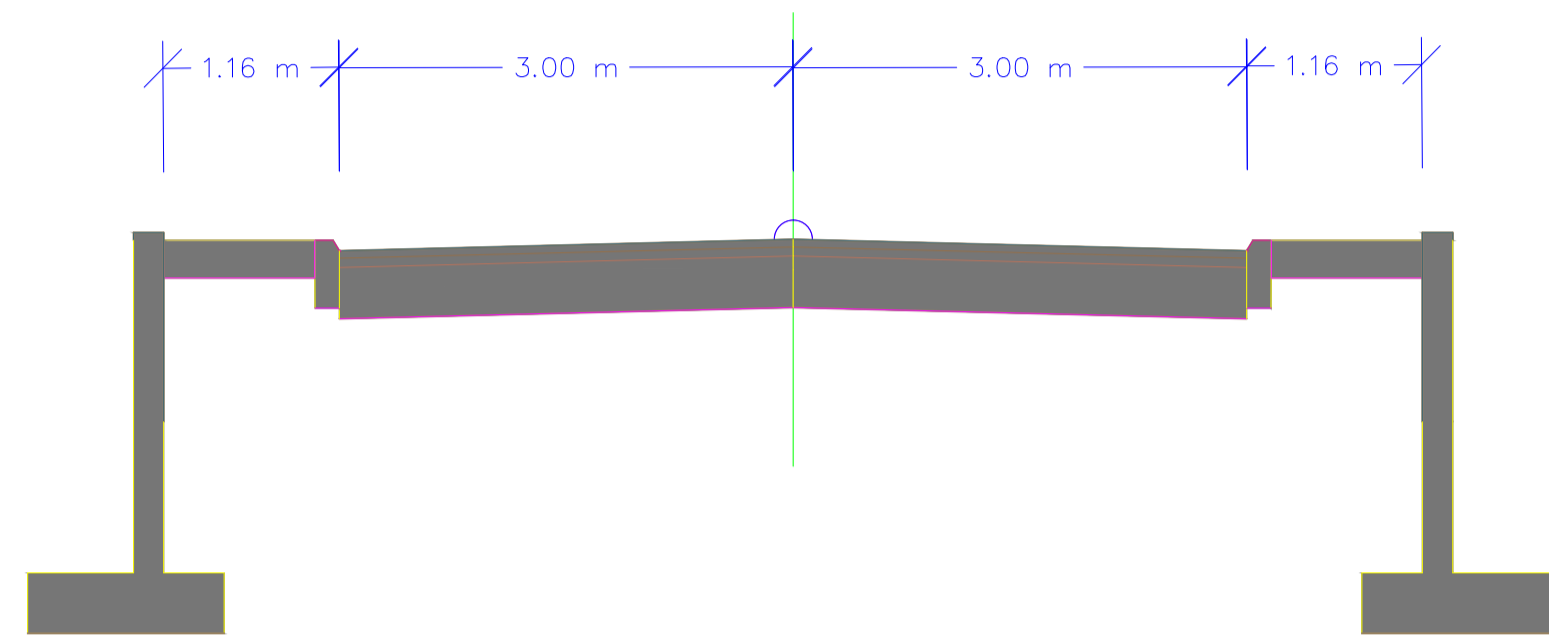
Emissões/Revisões		
Rev.	Data	Descrição

Título
 Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães
 Traçado
 Perfis Transversais

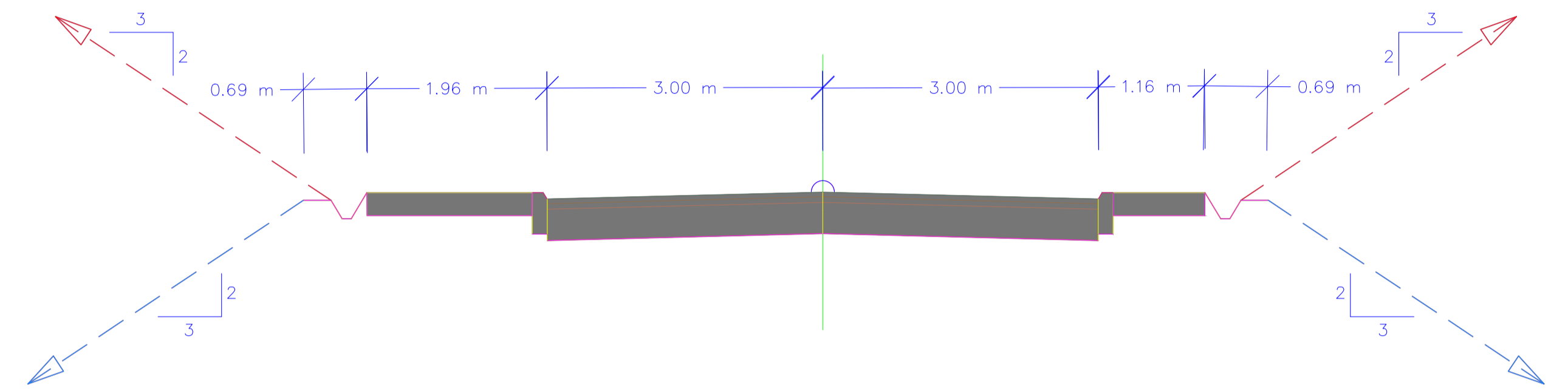
Nº Projecto
 PE-001-MEC-IE2015
 Nº do Desenho
 003-3
 Data
 OUT/2015
 Fase / Revisão
 R0

Anexo 5 – Perfis transversais tipo

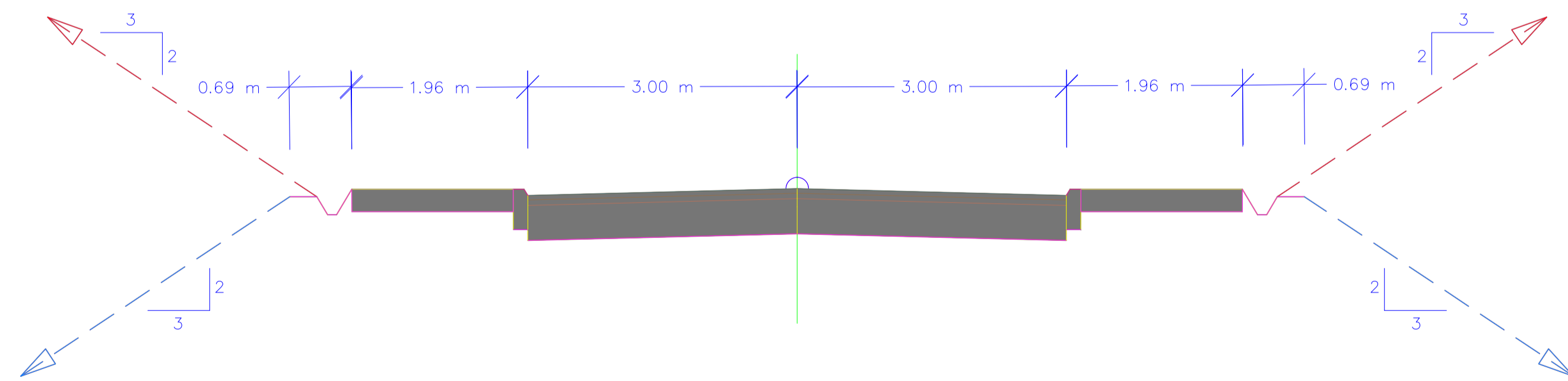
Perfil transversal tipo rua estádio à escola (passeios 1m + muro 0.80m)



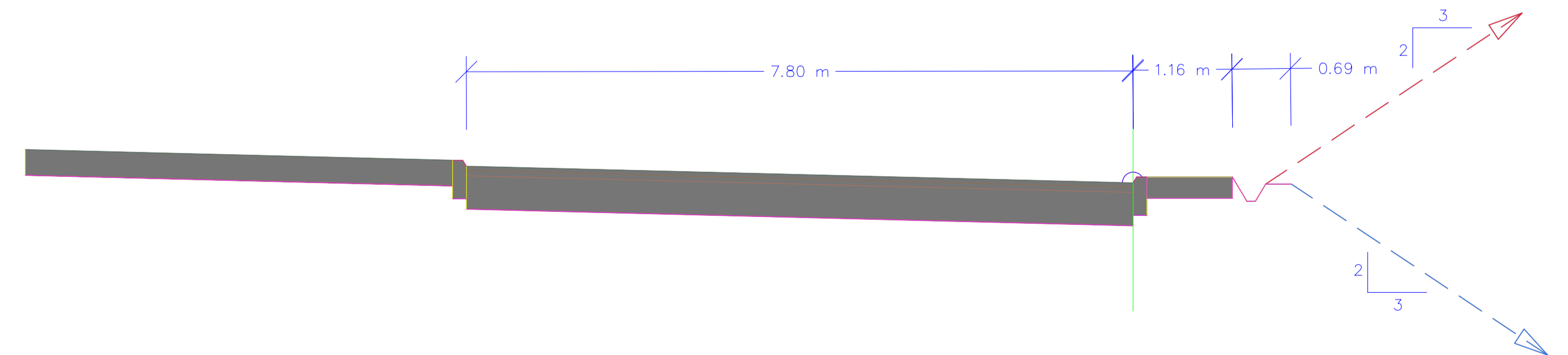
Perfil transversal tipo rua acesso EN222 (passeios diferentes)





Perfil transversal tipo rua estádio à escola (passeios 1.8m)



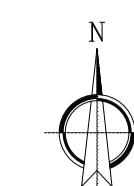
Perfil transversal tipo rotunda-terreno



Este desenho é propriedade do aluno Bruno Pinto (1081752), matriculado no Curso de Engenharia Civil, Infraestruturas do ISEP e encontra-se protegido pelos direitos de autor e direitos conexos, não podendo ser utilizado, reproduzido por todo ou em parte, ou comunicado a terceiros sem a expressa autorização.

<p>Requerente</p>  <p>Câmara Municipal de Cinfães</p>	<p>Projectista</p>  <p>Instituto Superior de Engenharia do Porto Bruno Rafael da Silva Pinto - 1081752 ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto</p>	<p>Designação do projecto</p> <p>Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães</p>	<p>Escala</p> <p>1/50</p> <p>Especialidade</p> <p>Vias de Comunicação</p> <p>Fase</p> <p>Projecto de Execução</p>	<p>Emissões/revisões</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Rev.</th> <th>Data</th> <th>Descrição</th> <th>Projectou</th> <th>Desenhou</th> <th>Aprovou</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	Rev.	Data	Descrição	Projectou	Desenhou	Aprovou							<p>Título</p> <p>Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães</p> <p>Traçado</p> <p>Perfis Transversais tipo</p>	<p>Nº Projecto</p> <p>PE-001-MEC-IE2015</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº do Desenho</th> <th>Data</th> <th>Fase / Revisão</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>004-1</td> <td>OUT/2015</td> <td>R0</td> </tr> </tbody> </table>	Nº do Desenho	Data	Fase / Revisão	004-1	OUT/2015	R0
Rev.	Data	Descrição	Projectou	Desenhou	Aprovou																			
Nº do Desenho	Data	Fase / Revisão																						
004-1	OUT/2015	R0																						

Anexo 6 – Planta de pavimentos e pormenores



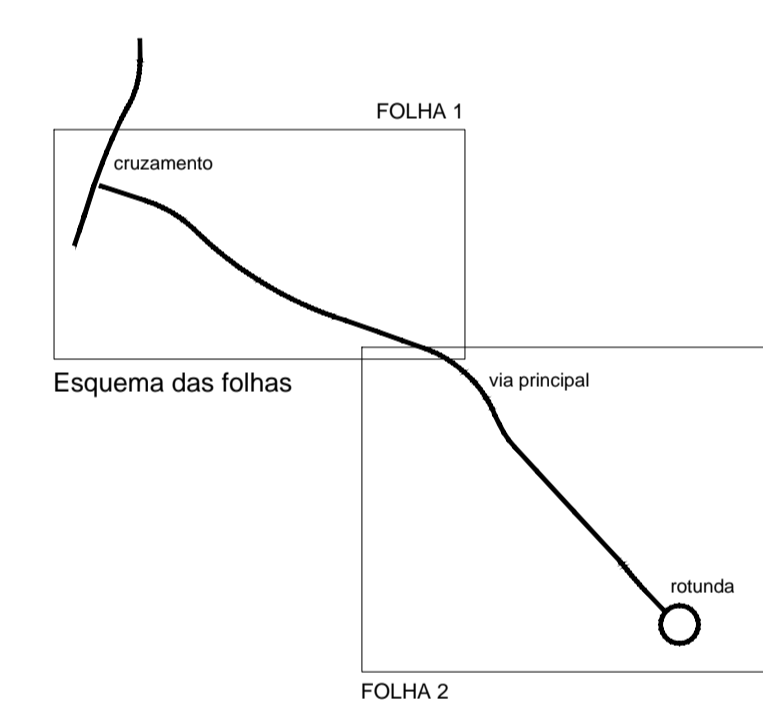
FOLHA 1

cruzamento

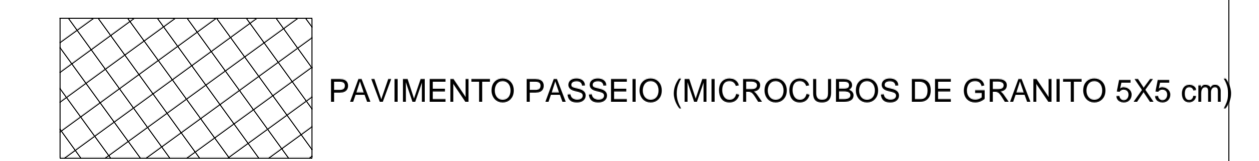
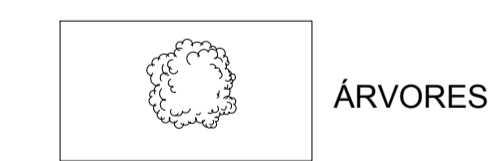
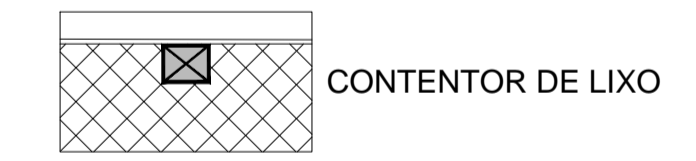
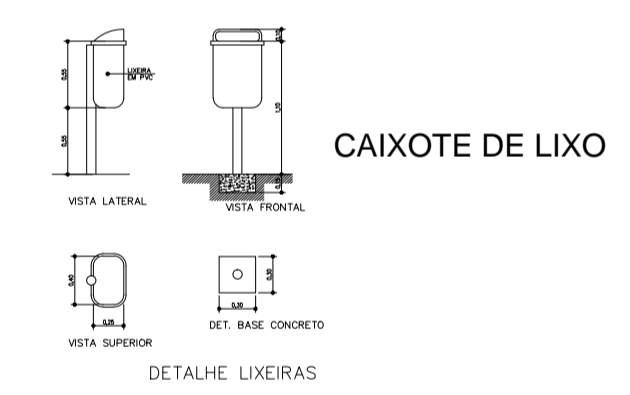
via principal

via principal

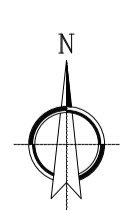
rotunda





LEGENDA:



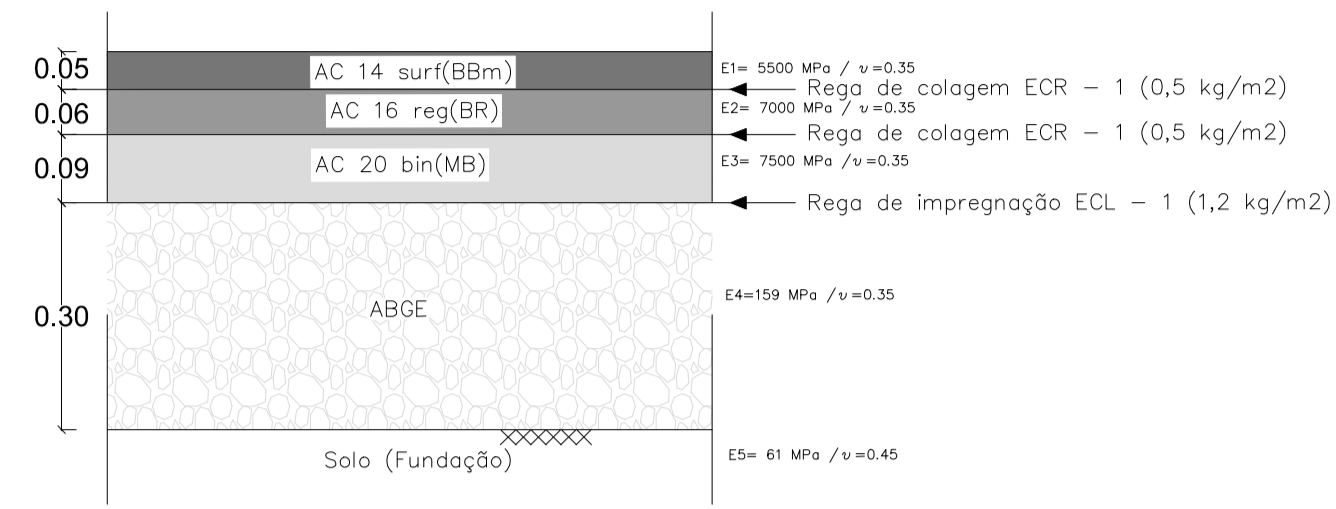
FOLHA 2



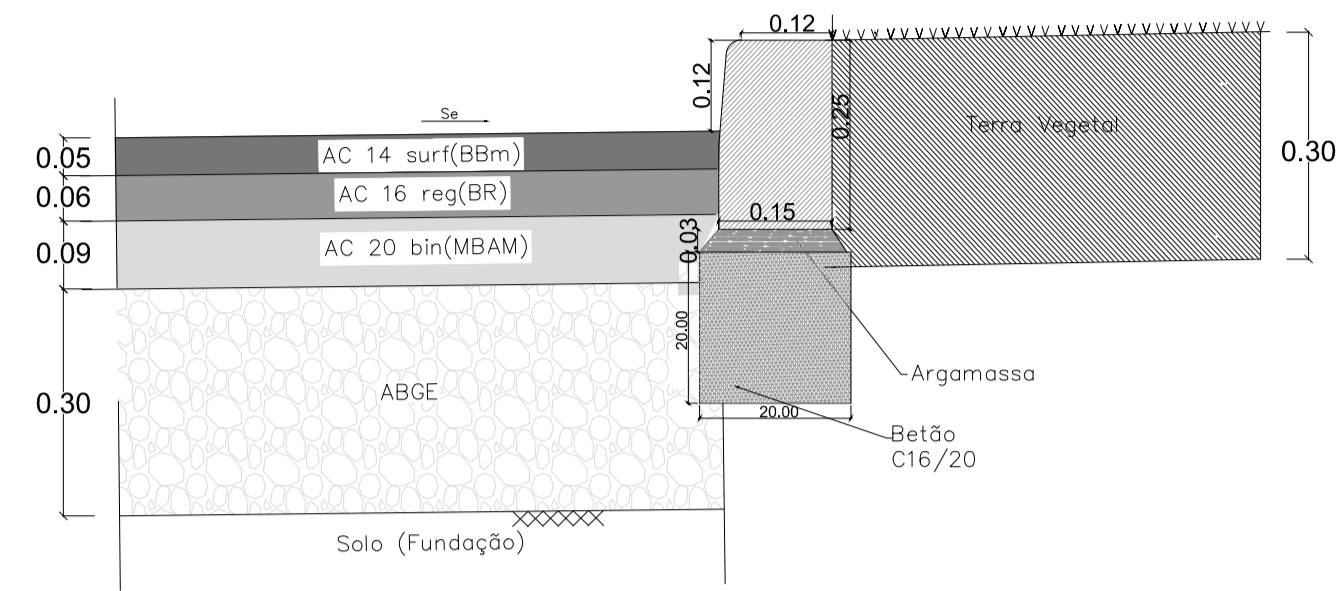
Este desenho é propriedade de aluno Bruno Pinto (1081752), matriculado no Curso de Engenharia Civil, Infraestruturas do ISEP e encontra-se protegido pelos direitos de autor e direitos conexos, não podendo ser utilizado, reproduzido por todo ou em parte, ou comunicado a terceiros sem a expressa autorização.

Requerente  Câmara Municipal de Cinfães	Projectista  Instituto Superior de Engenharia do Porto Bruno Rafael da Silva Pinto - 1081752 ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto	Designação do projecto Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães	Escalas 1/500 Especialidade Vias de Comunicação Fase Projecto de Execução	Emissões/revisões			Título Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães Pavimentação Planta de Pavimentos	Nº Projecto PE-001-MEC-IE2015
				Rev.	Data	Descrição		

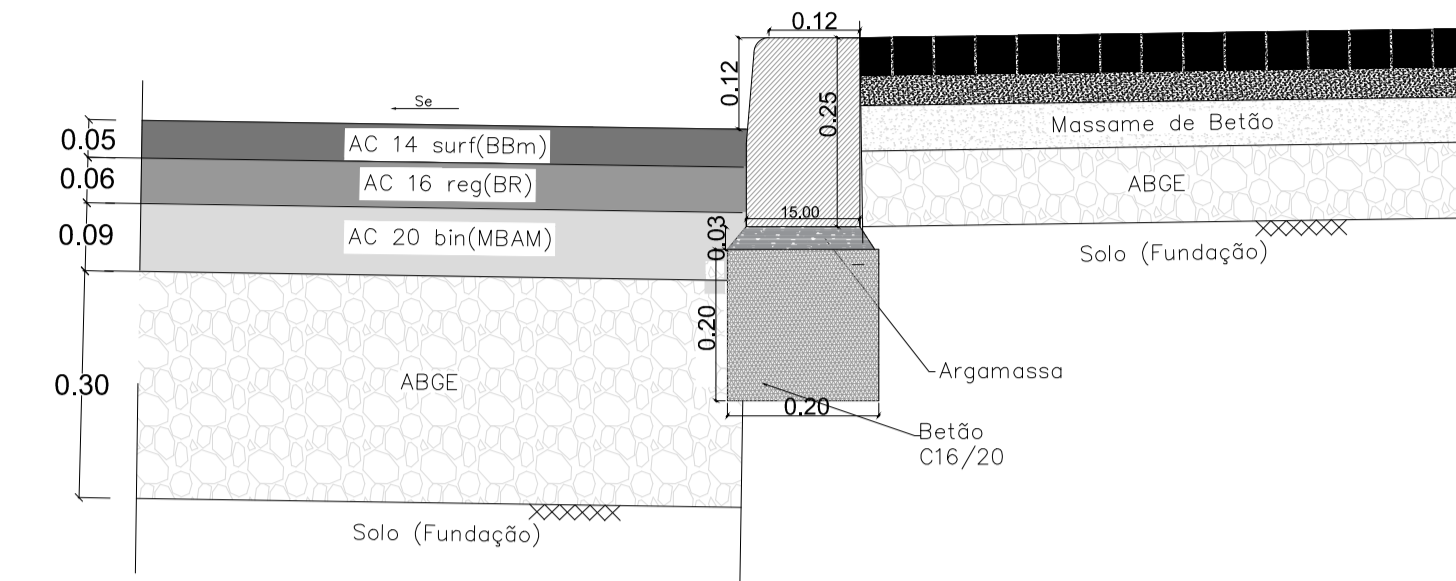
Pavimento Flexível (Solução Corrente)



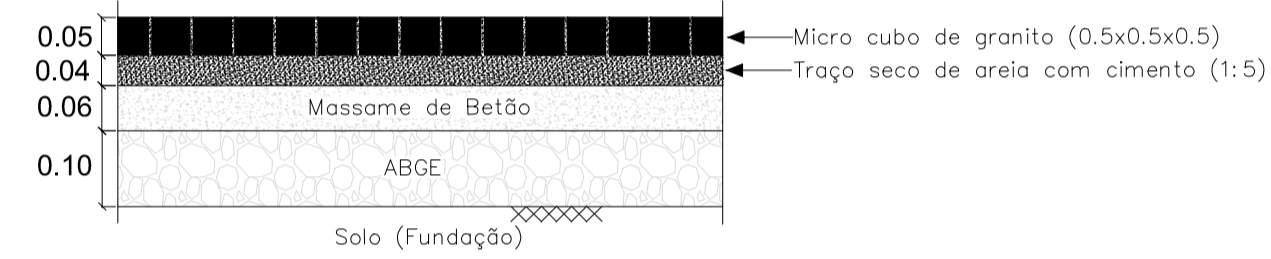
Pavimento Flexível – Zona Ajardinada (Rotunda)



Pavimento Flexível – Passeio

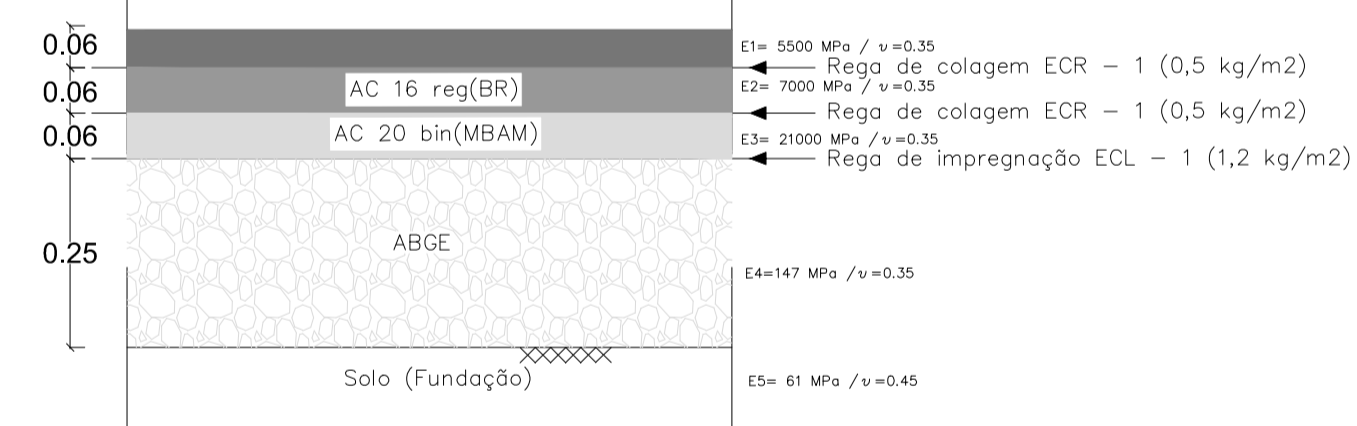


Pavimento Semi-Rígido (Passeio)

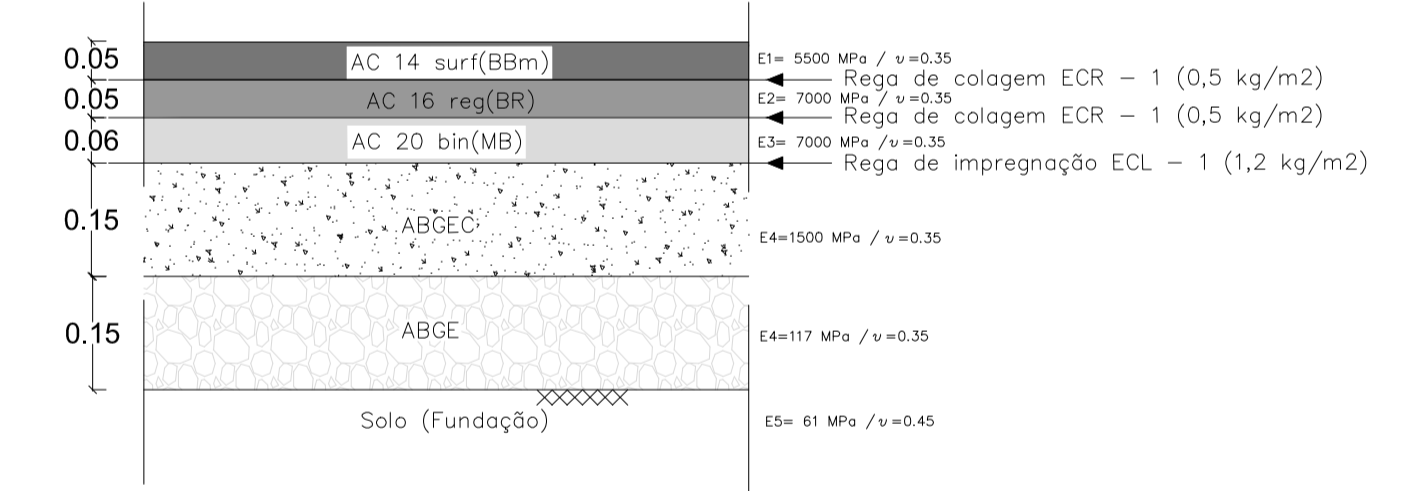


Outras Soluções de Pavimentos Flexíveis

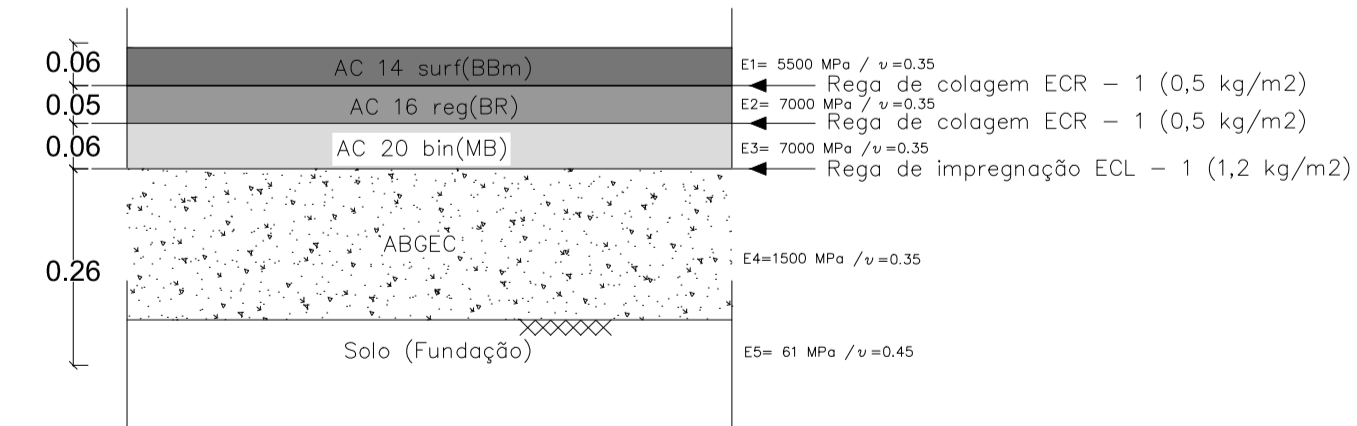
Pavimento Flexível(Solução Alto Módulo)



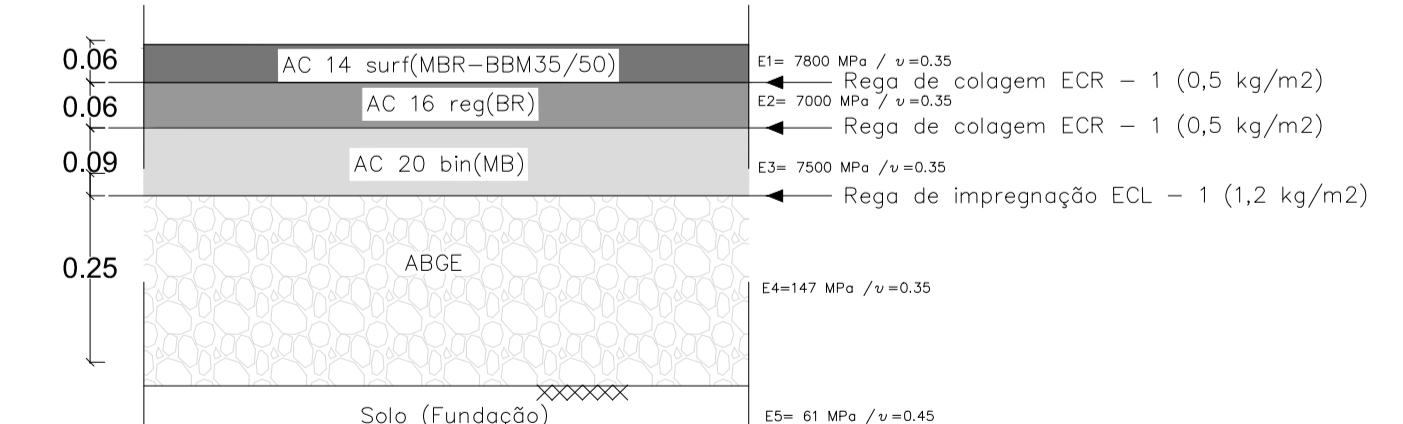
Pavimento Flexível(Solução ABGEC+ABGE)



Pavimento Flexível(Solução ABGEC)



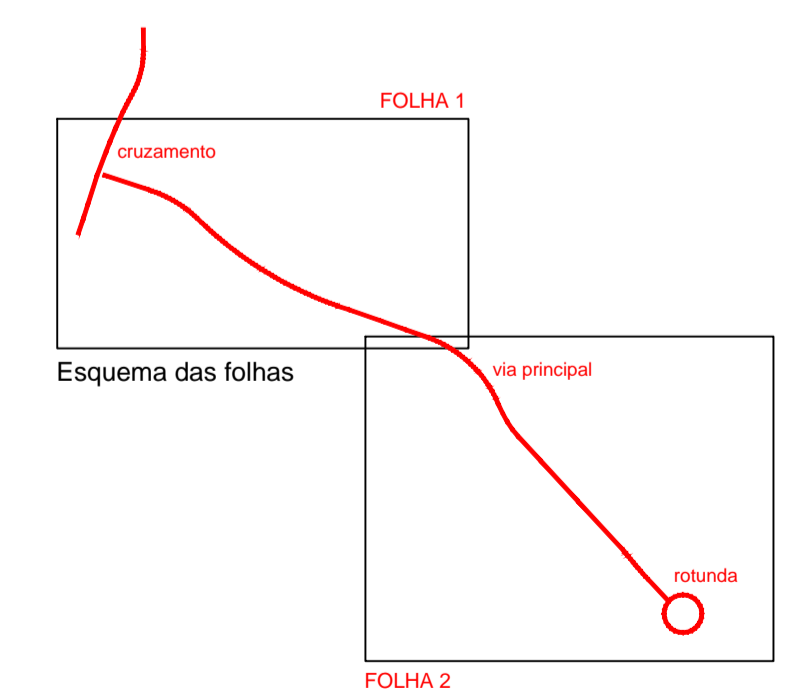
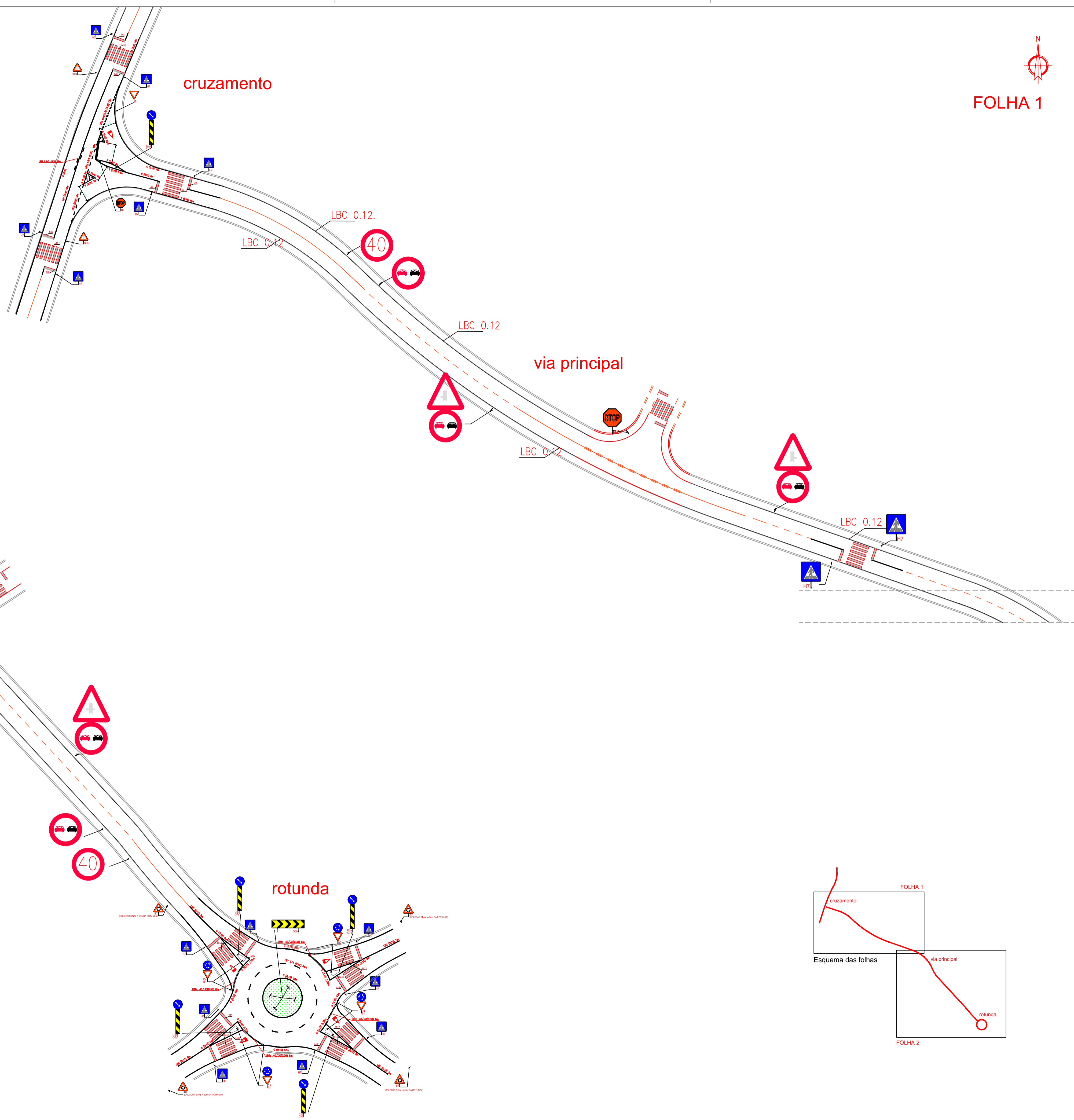
Pavimento Flexível(Solução Com borracha)



Este desenho é propriedade do aluno Bruno Pinto (1081752), matriculado no Curso de Engenharia Civil, Infraestruturas do ISEP e encontra-se protegido pelos direitos de autor e direitos conexos, não podendo ser utilizado, reproduzido por todo ou em parte, ou comunicado a terceiros sem a expressa autorização.

Requerente Câmara Municipal de Cinfães	Projectista Instituto Superior de Engenharia do Porto Bruno Rafael da Silva Pinto - 1081752 ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto	Designação do projecto Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães	Escalas 1/10	Emissões/revisões			Título Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães	Nº Projecto PE-001-MEC-IE2015
			Especialidade Vias de Comunicação	Fase Projecto de Execução	Rev. Data Descrição	Projectou		

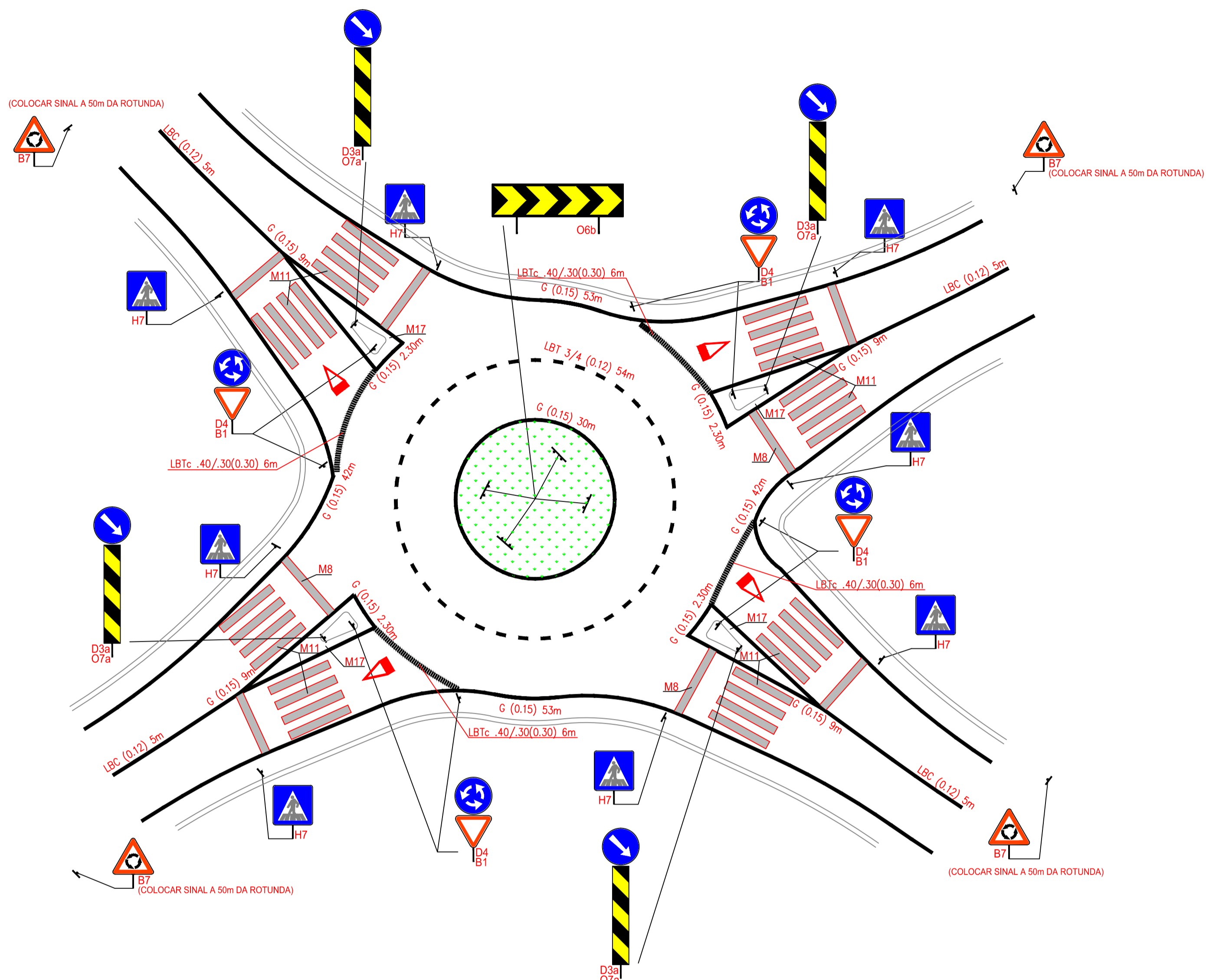
Anexo 7 – Planta de sinalização e segurança



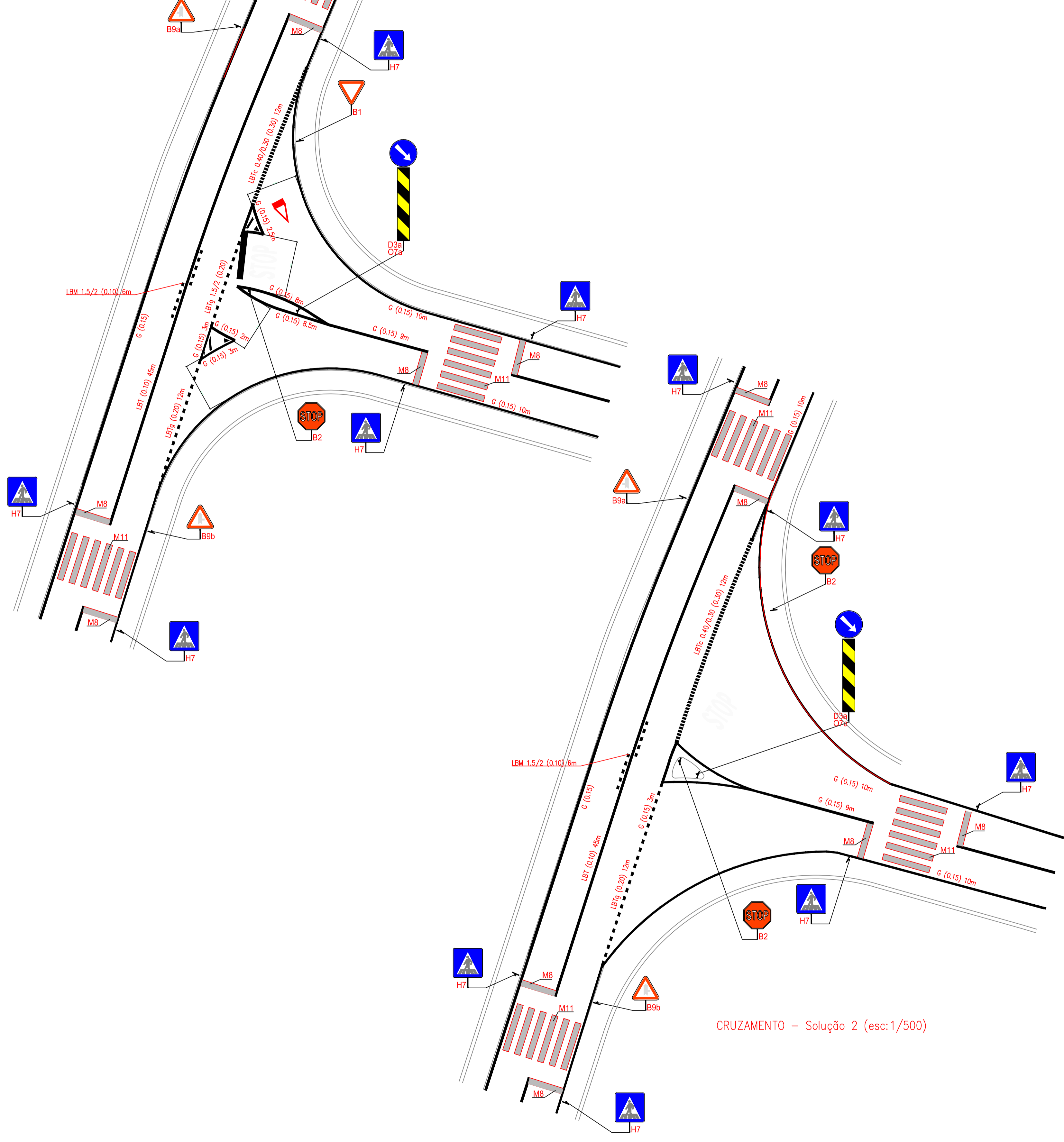
Este desenho é propriedade de Bruno Bruno Pinto (0987352), inscrito no C.º de Engenharia Civil. Infraestruturas no ISEP e encontra-se protegido pelos direitos de autor e direitos conexos, não podendo ser utilizado, reproduzido por todo ou em parte, ou comunicado a terceiros, sem a expressa autorização.

Requerente Câmara Municipal de Cinfães	Projectista Instituto Superior de Engenharia do Porto Bruno Rafael da Silva Pinto - 1081752 ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto	Designação do projecto Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães	Escalas 1/500	Emissões/Revisões			Título Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães Planta de Sinalização e Segurança Via Principal	Nº Projecto PE-001-MEC-IE2015		
			Especialidade Vias de Comunicação	Rev.	Data	Descrição		Projectou	Desenhou	Aprovou

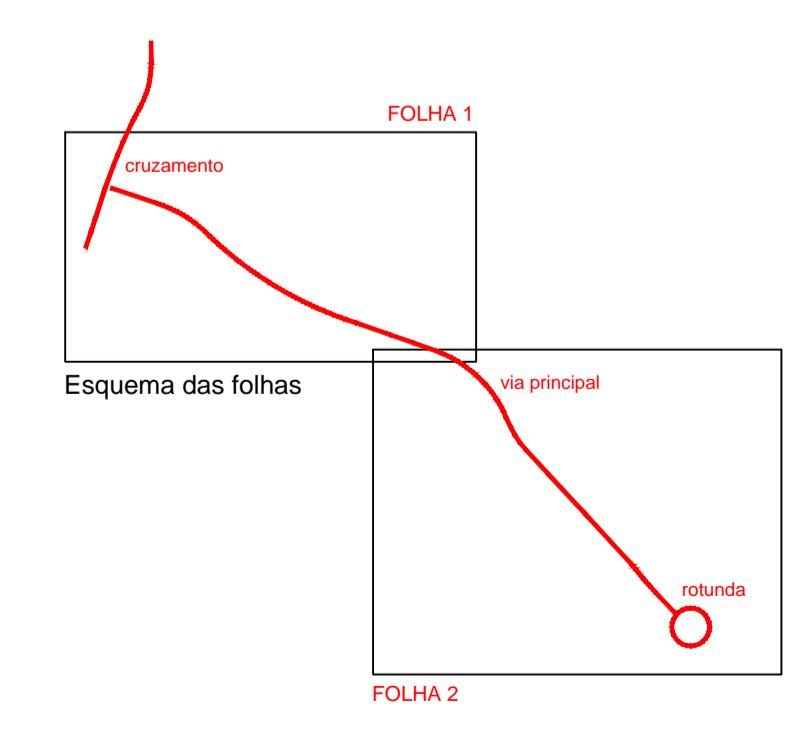
ROTUNDA (esc:1/500)



CRUZAMENTO - Solução 1 (esc:1/500)



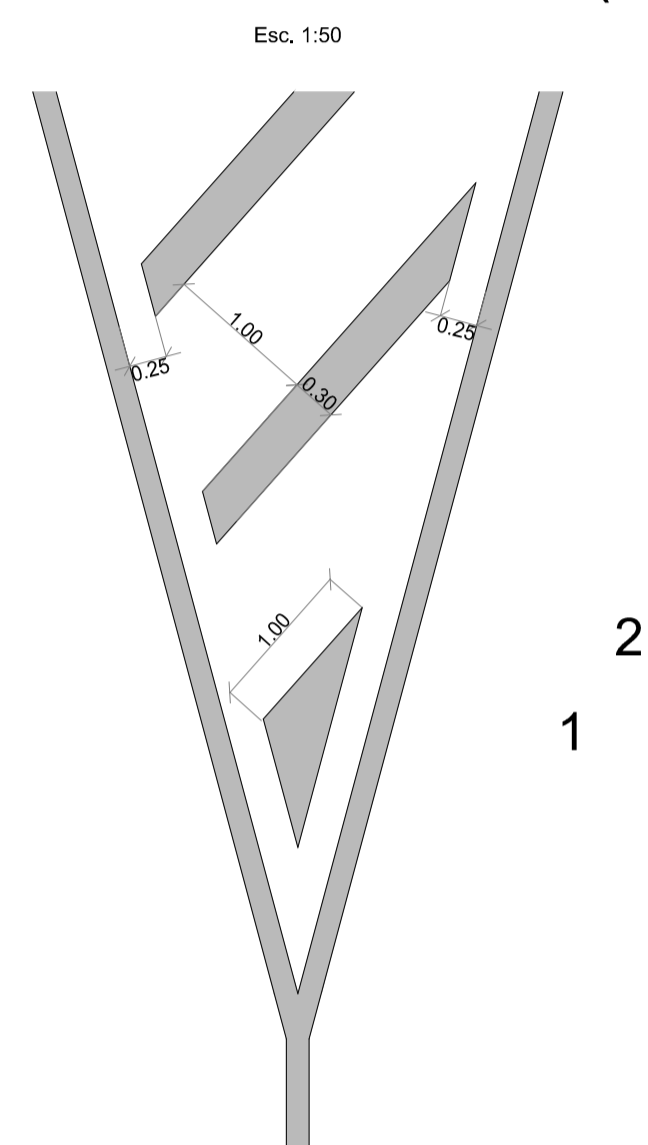
CRUZAMENTO - Solução 2 (esc:1/500)



Este desenho é propriedade de Bruno Rafael da Silva Pinto (1081752), inscrito no C.º de Engenharia Civil, Infraestruturas no ISEP e encontra-se protegido pelos direitos de autor e direitos conexos, não podendo ser utilizado, reproduzido ou divulgado por todo ou em parte, ou comunicado a terceiros, sem a expressa autorização.

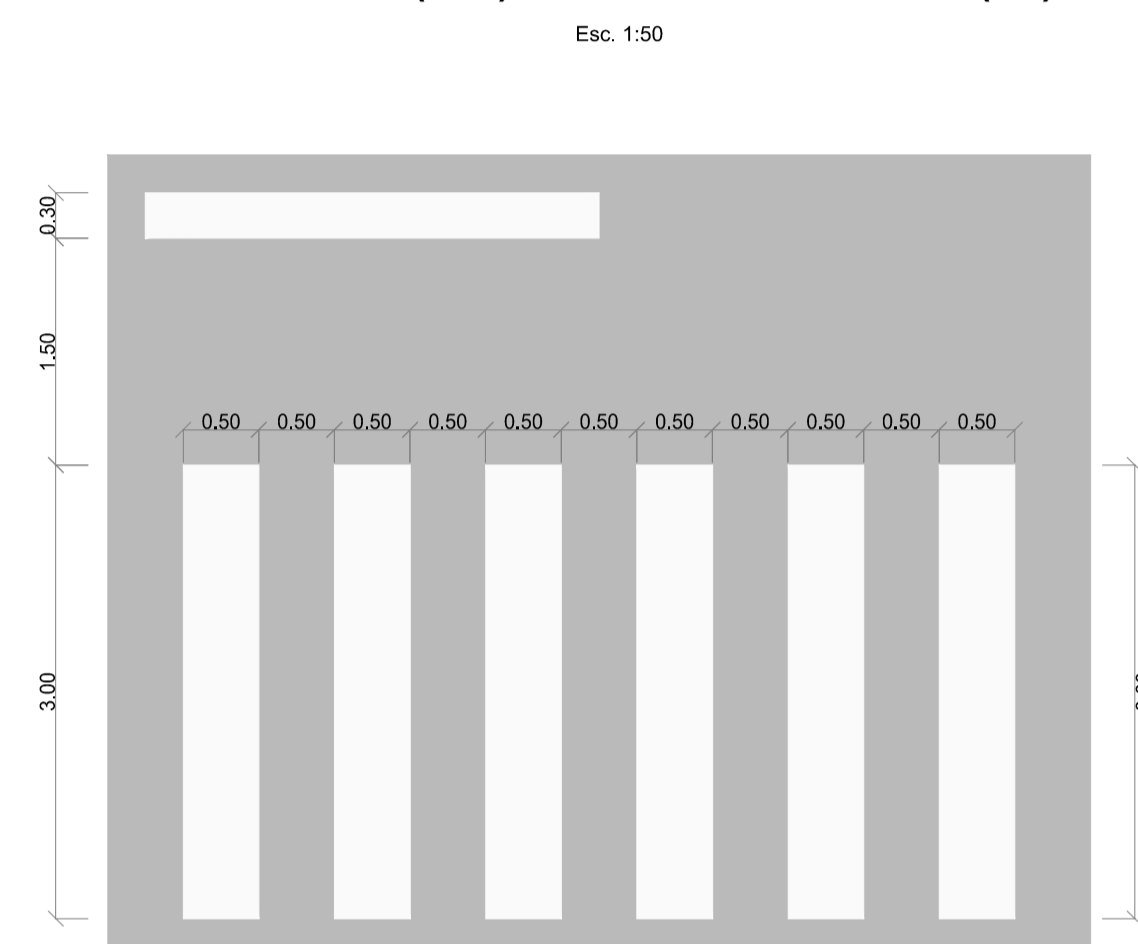
Requerente Câmara Municipal de Cinfães	Projectista Instituto Superior de Engenharia do Porto Bruno Rafael da Silva Pinto - 1081752 ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto	Designação do projecto Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães	Escalas 1/200	Emissões/Revisões			Título Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães Planta de Sinalização e Segurança Rotunda e Cruzamento	Nº Projecto PE-001-MEC-IE2015		
			Especialidade Vias de Comunicação	Rev. Data Descrição	Projectou	Desenhou		Aprovou	Nº do Desenho 006-2	Data OUT/2015

EXEMPLO DE APLICAÇÃO DAS RAIAS OBLÍQUAS DELIMITADAS POR LINHAS CONTINUAS (M17)

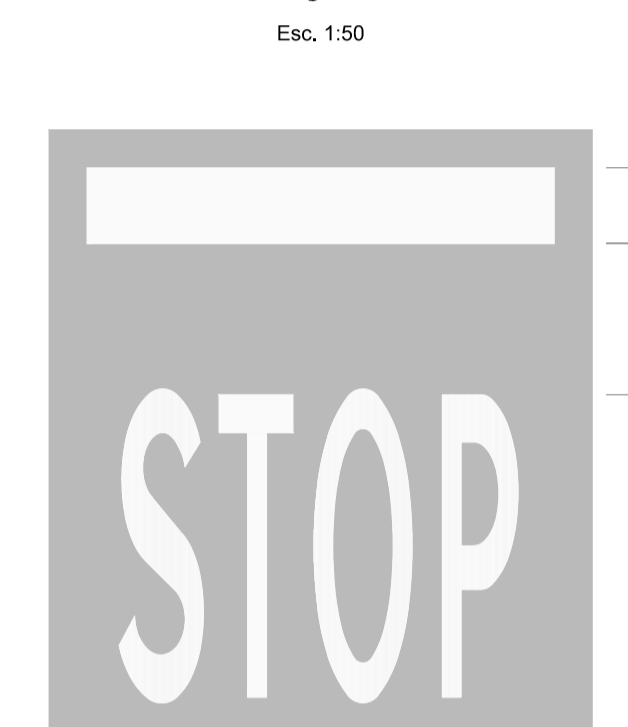


2
1

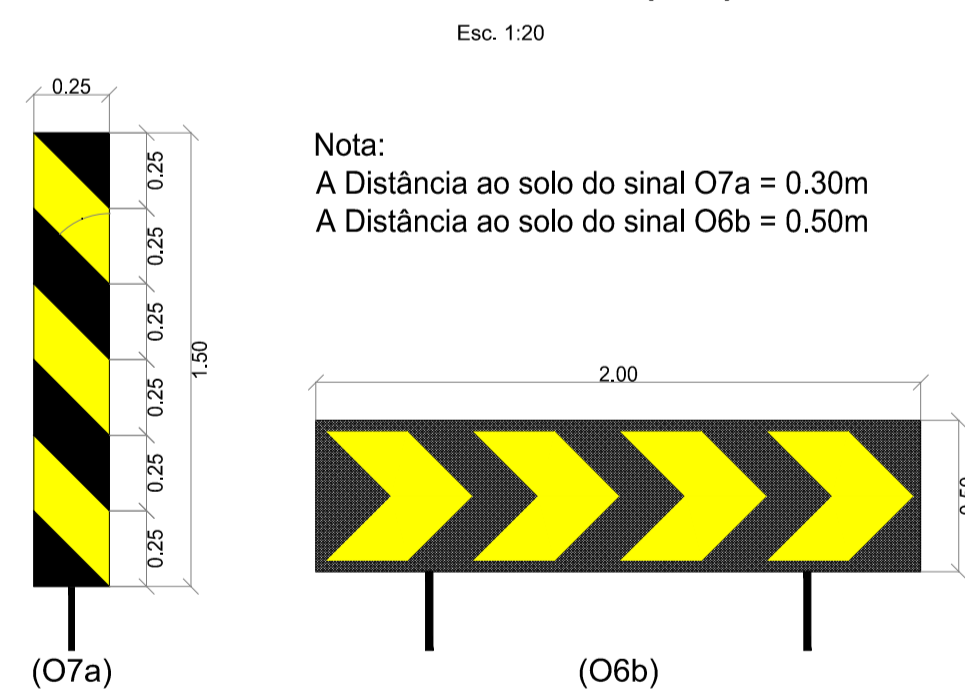
EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA PASSADEIRA (M11) COM LINHA DE PARAGEM (M8)



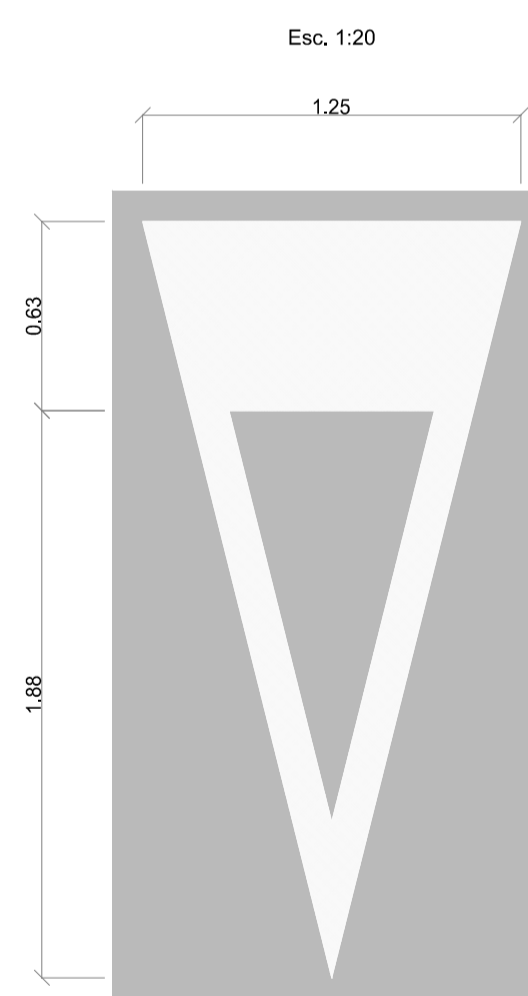
EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA INSCRIÇÃO "STOP"



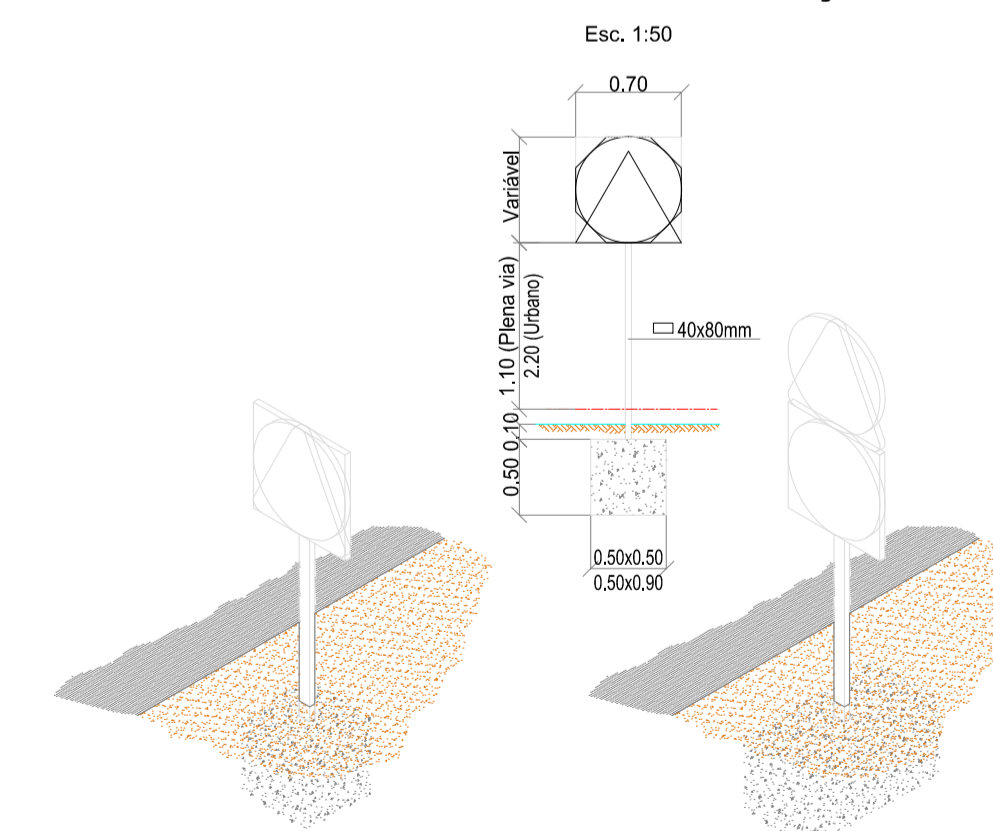
DIMENSÕES DE BALIZA DE POSIÇÃO (O7a) E BAIA DIRECCIONAL (O6b)



TRIÂNGULO DE CEDÊNCIA DE PRIORIDADE



SINAIS DE CÓDIGO - MACIÇOS



Este desenho é propriedade do aluno Bruno Pinto (1081752), matricado no Curso de Engenharia Civil - Infraestruturas no ISEP e encontra-se protegido pelos direitos de autor e direitos conexos, não podendo ser utilizado, reproduzido por todo ou em parte, ou comunicado a terceiros sem sua expressa autorização.

Requerente Câmara Municipal de Cinfães	Projectista Instituto Superior de Engenharia do Porto Bruno Rafael da Silva Pinto - 1081752 ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto	Designação do projecto Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães	Escalas 1/50 1/20	Emissões/revisões			Título Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães Planta de Sinalização e Segurança Pormenores	Nº Projecto PE-001-MEC-IE2015
			Especialidade Vias de Comunicação	Rev. Data Descrição	Projectou	Desenhou		
Fase Projecto de Execução								

Anexo 8 – Cálculos auxiliares de pavimentos

PAVIMENTO FLEXÍVEL - QUADRO RESUMO (SOLUÇÃO COM ALTO MÓDULO)								
Camada	Material	Espessura (cm)	Temperatura da Camada (°C)	Módulo de Deformabilidade (MPa)	Extensão de Tração Máxima Admissível (μdef)	Extensão de Tração Máxima Instalada (μdef)	Extensão Vertical Máxima Admissível (μdef)	Extensão Vertical Máxima Instalada (μdef)
Desgaste	BB - AC 14 surf.	5,00	25,00	5486	130,73	26,00	618,77	25,70
Regularização	BR - AC 16 reg.	6,00	24,40	7054	111,20	1,20	618,77	22,10
Base	MBAM - AC 20 bin.	6,00	23,50	21076	69,44	-65,60	618,77	60,50
Sub-base	ABGE	25,00	-	147	-	-	618,77	180,50
Fundação	Solo	-	-	61	-	-	-	-

PAVIMENTO FLEXÍVEL - QUADRO RESUMO (SOLUÇÃO COM ABGEC)								
Camada	Material	Espessura (cm)	Temperatura da Camada (°C)	Módulo de Deformabilidade (MPa)	Extensão de Tração Máxima Admissível (μdef)	Extensão de Tração Máxima Instalada (μdef)	Extensão Vertical Máxima Admissível (μdef)	Extensão Vertical Máxima Instalada (μdef)
Desgaste	BB - AC 14 surf.	5,00	25,00	5486	130,73	15,20	618,77	38,70
Regularização	BR - AC 16 reg.	5,00	24,60	6953	111,78	-11,90	618,77	39,20
Base	MB - AC 20 bin.	6,00	23,70	7177	94,17	-52,80	618,77	59,60
Sub-base	ABGEC	20,00	-	1500	-	-	618,77	101,30
Fundação	Solo	-	-	61	-	-	-	-

PAVIMENTO FLEXIVEL - QUADRO RESUMO (SOLUÇÃO COM ABGEC+ABGE)								
Camada	Material	Espessura (cm)	Temperatura da Camada (°C)	Módulo de Deformabilidade (MPa)	Extensão de Tração Máxima Admissível (μdef)	Extensão de Tração Máxima Instalada (μdef)	Extensão Vertical Máxima Admissível (μdef)	Extensão Vertical Máxima Instalada (μdef)
Desgaste	BB - AC 14 surf.	5,00	25,00	5486	130,73	17,00	618,77	36,00
Regularização	BR - AC 16 reg.	5,00	24,60	6953	111,78	-13,20	618,77	40,10
Base	MB - AC 20 bin.	6,00	23,70	7177	94,17	-59,50	618,77	65,10
Sub-base1	ABGEC	15,00	-	1500	-	-	618,77	112,00
Sub-base2	ABGE	15,00	-	117	-	-	618,77	180,50
Fundação	Solo	-	-	61	-	-	-	-

PAVIMENTO FLEXIVEL - QUADRO RESUMO (SOLUÇÃO COM BETUME MODIFICADO COM BORRACHA)								
Camada	Material	Espessura (cm)	Temperatura da Camada (°C)	Módulo de Deformabilidade (MPa)	Extensão de Tração Máxima Admissível (μdef)	Extensão de Tração Máxima Instalada (μdef)	Extensão Vertical Máxima Admissível (μdef)	Extensão Vertical Máxima Instalada (μdef)
Desgaste	MBR-BBM 35/50	5,00	25,00	7831	154,60	13,60	618,77	21,70
Regularização	BR - AC 16 reg.	6,00	24,40	7054	111,20	-18,20	618,77	40,60
Base	MB - AC 20 bin.	9,00	23,10	7455	92,89	-87,50	618,77	80,90
Sub-base	ABGE	25,00	-	147	-	-	618,77	162,90
Fundação	Solo	-	-	61	-	-	-	-

Alize-Lcpc - Design of pavement structures
according to the French Lcpc-Setra rational method

Description of the calculation

- data Structure : direct input
- file origin C:\...\...\Solução normal 5+6+9 (abge 30).dat
- title of the study no title

- load data :

- special dual-wheel (not the French standard one), weight 039,970 kN
- vertical pressure : 0,5770 MPa
- contact radius : 0,1050 m
- dual-wheel spacing: 0,3150 m

units: m, MN and MPa; strains in μ strain; deflection in mm/100

Table 1 (synthesis):

**major main traction stresses in the horizontal plane XoY and
major main compression stresses along the vertical ZZ axis; maximal deflection**

level comput.	EpsilonT horizontal	SigmaT horizontal	EpsilonZ vertical	SigmaZ vertical
----- <i>surface (z=0.000)</i> -----				
th= 0,050 m 0,000m Yg= 5500,0 MPa nu= 0,350 0,050m	44,6	0,475	-20,7	0,574
----- <i>bonded (z=0,050m)</i> -----				
th= 0,060 m 0,050m Yg= 7000,0 MPa nu= 0,350 0,110m	20,2	0,450	18,8	0,513
----- <i>bonded (z=0,110m)</i> -----				
th= 0,090 m 0,110m Yg= 7500,0 MPa nu= 0,350 0,200m	-14,0	-0,024	38,0	0,275
----- <i>bonded (z=0,200m)</i> -----				
th= 0,300 m 0,200m Yg= 159,0 MPa nu= 0,350 0,500m	-14,0	-0,029	36,4	0,275
----- <i>bonded (z=0,500m)</i> -----				
th. infinite 0,500m Yg= 61,0 MPa nu= 0,450	-88,3	-0,892	81,6	0,035
----- <i>bonded (z=0,500m)</i> -----				
th. infinite 0,500m Yg= 61,0 MPa nu= 0,450	-88,3	-0,001	214,8	0,035
----- <i>bonded (z=0,500m)</i> -----				
th. infinite 0,500m Yg= 61,0 MPa nu= 0,450	-96,1	-0,015	157,9	0,015
----- <i>bonded (z=0,500m)</i> -----				
th. infinite 0,500m Yg= 61,0 MPa nu= 0,450	-96,1	0,002	215,2	0,015

Maximal deflection =34,1 mm/100 (dual-wheel center)
Curvature radius =714,2 m (dual-wheel center)

Alize-Lcpc - Design of pavement structures
according to the French Lcpc-Setra rational method

Description of the calculation

- data Structure : direct input
- file origin C:\...\...\Solução alto modulo 5+6+6 (abge 25).dat
- title of the study no title

- load data :
 - special dual-wheel (not the French standard one), weight 039,970 kN
 - vertical pressure : 0,5770 MPa
 - contact radius : 0,1050 m
 - dual-wheel spacing: 0,3150 m

units: m, MN and MPa; strains in μ strain; deflection in mm/100

Table 1 (synthesis):
major main traction stresses in the horizontal plane XoY and major main compression stresses along the vertical ZZ axis; maximal deflection

level comput.	EpsilonT horizontal	SigmaT horizontal	EpsilonZ vertical	SigmaZ vertical
----- <i>surface (z=0.000)</i> -----				
th= 0,050 m 0,000m Yg= 5400,0 MPa nu= 0,350 0,050m	57,4	0,564	-25,4	0,574
----- <i>bonded (z=0,050m)</i> -----				
th= 0,060 m 0,050m Yg= 7000,0 MPa nu= 0,350 0,110m	26,0	0,543	11,9	0,523
----- <i>bonded (z=0,110m)</i> -----				
th= 0,060 m 0,110m Yg= 21000,0 MPa nu= 0,350 0,170m	1,2	0,145	6,1	0,271
----- <i>bonded (z=0,170m)</i> -----				
th= 0,250 m 0,170m Yg= 147,0 MPa nu= 0,350 0,420m	-65,6	0,005	202,5	0,034
----- <i>bonded (z=0,420m)</i> -----				
th. infinite 0,420m Yg= 61,0 MPa nu= 0,450	-103,5	0,004	236,7	0,018

Maximal deflection =36,1 mm/100 (dual-wheel center)
Curvature radius =724,3 m (dual-wheel center)

Alize-Lcpc - Design of pavement structures
 according to the French Lcpc-Setra rational method

Description of the calculation

- data Structure : direct input
- file origin C:\...\Solução ABGEC 5+5+6 (abgec 20).dat
- title of the study no title

- load data :
 - special dual-wheel (not the French standard one), weight 039,970 kN
 - vertical pressure : 0,5770 MPa
 - contact radius : 0,1050 m
 - dual-wheel spacing: 0,3150 m

units: m, MN and MPa; strains in μ strain; deflection in mm/100

Table 1 (synthesis):
**major main traction stresses in the horizontal plane XoY and
 major main compression stresses along the vertical ZZ axis; maximal deflection**

level comput.	EpsilonT horizontal	SigmaT horizontal	EpsilonZ vertical	SigmaZ vertical
----- <i>surface (z=0.000)</i> -----				
th= 0,050 m 0,000m Yg= 5400,0 MPa nu= 0,350 0,050m	30,6	0,362	-8,1	0,574
----- <i>bonded (z=0,050m)</i> -----				
th= 0,050 m 0,050m Yg= 6900,0 MPa nu= 0,350 0,100m	15,2	0,288	38,7	0,510
----- <i>bonded (z=0,100m)</i> -----				
th= 0,060 m 0,100m Yg= 7100,0 MPa nu= 0,350 0,160m	-11,9	0,030	39,2	0,313
----- <i>bonded (z=0,160m)</i> -----				
th= 0,200 m 0,160m Yg= 1500,0 MPa nu= 0,350 0,360m	-11,9	0,029	59,6	0,129
----- <i>bonded (z=0,360m)</i> -----				
th. infinite 0,360m Yg= 61,0 MPa nu= 0,450	-52,8	-0,463	101,8	0,129
----- <i>bonded (z=0,360m)</i> -----				
th. infinite 0,360m Yg= 61,0 MPa nu= 0,450	-97,8	-0,205	101,3	0,016
----- <i>bonded (z=0,360m)</i> -----				
th. infinite 0,360m Yg= 61,0 MPa nu= 0,450	-97,8	0,003	211,9	0,016

Maximal deflection =30,1 mm/100 (dual-wheel center)
 Curvature radius =766,4 m (dual-wheel center)

Alize-Lcpc - Design of pavement structures
according to the French Lcpc-Setra rational method

Description of the calculation

- data Structure : direct input
- file origin C:\...\Solução ABGEC 5+5+6 (abgec 15+ abge 15).dat
- title of the study no title

- load data :

- special dual-wheel (not the French standard one), weight 039,970 kN
- vertical pressure : 0,5770 MPa
- contact radius : 0,1050 m
- dual-wheel spacing: 0,3150 m

units: m, MN and MPa; strains in μ strain; deflection in mm/100

Table 1 (synthesis):

major main traction stresses in the horizontal plane XoY and major main compression stresses along the vertical ZZ axis; maximal deflection

level comput.	EpsilonT horizontal	SigmaT horizontal	EpsilonZ vertical	SigmaZ vertical
----- <i>surface (z=0.000)</i> -----				
th= 0,050 m 0,000m Yg= 5400,0 MPa nu= 0,350 0,050m	35,5	0,401	-14,7	0,575
	17,0	0,310	36,0	0,508
----- <i>bonded (z=0,050m)</i> -----				
th= 0,050 m 0,050m Yg= 6900,0 MPa nu= 0,350 0,100m	17,0	0,389	23,2	0,508
	-13,2	0,011	40,1	0,307
----- <i>bonded (z=0,100m)</i> -----				
th= 0,060 m 0,100m Yg= 7100,0 MPa nu= 0,350 0,160m	-13,2	0,010	39,3	0,307
	-59,5	-0,537	65,1	0,118
----- <i>bonded (z=0,160m)</i> -----				
th= 0,150 m 0,160m Yg= 1500,0 MPa nu= 0,350 0,310m	-59,5	-0,068	103,8	0,118
	-108,9	-0,224	112,0	0,022
----- <i>bonded (z=0,310m)</i> -----				
th= 0,150 m 0,310m Yg= 117,0 MPa nu= 0,350 0,460m	-108,9	-0,007	219,9	0,022
	-101,1	-0,010	180,5	0,015
----- <i>bonded (z=0,460m)</i> -----				
th. infinite 0,460m Yg= 61,0 MPa nu= 0,450	-101,1	0,001	218,8	0,015

Maximal deflection =32,4 mm/100 (dual-wheel center)
Curvature radius =743,6 m (dual-wheel center)

Alize-Lcpc - Design of pavement structures
according to the French Lcpc-Setra rational method

Description of the calculation

- data Structure : direct input
- file origin C:\...\Solução COM BORACHA 5+6+9 (abge 25) MBR-BBM-35-50.dat
- title of the study no title

- load data :
 - special dual-wheel (not the French standard one), weight 039,970 kN
 - vertical pressure : 0,5770 MPa
 - contact radius : 0,1050 m
 - dual-wheel spacing: 0,3150 m

units: m, MN and MPa; strains in μ strain; deflection in mm/100

Table 1 (synthesis):
major main traction stresses in the horizontal plane XoY and major main compression stresses along the vertical ZZ axis; maximal deflection

level comput.	EpsilonT horizontal	SigmaT horizontal	EpsilonZ vertical	SigmaZ vertical
----- <i>surface (z=0.000)</i> -----				
th= 0,050 m 0,000m	36,9	0,579	-32,9	0,574
Yg= 7800,0 MPa				
nu= 0,350 0,050m	13,6	0,399	21,7	0,501
----- <i>bonded (z=0,050m)</i> -----				
th= 0,060 m 0,050m	13,6	0,361	26,3	0,501
Yg= 7000,0 MPa				
nu= 0,350 0,110m	-18,2	-0,074	40,6	0,259
----- <i>bonded (z=0,110m)</i> -----				
th= 0,090 m 0,110m	-18,2	-0,080	39,4	0,259
Yg= 7400,0 MPa				
nu= 0,350 0,200m	-87,5	-0,876	80,9	0,030
----- <i>bonded (z=0,200m)</i> -----				
th= 0,250 m 0,200m	-87,5	-0,001	207,1	0,030
Yg= 147,0 MPa				
nu= 0,350 0,450m	-95,6	-0,013	162,9	0,015
----- <i>bonded (z=0,450m)</i> -----				
th. infinite 0,450m	-95,6	0,002	214,8	0,015
Yg= 61,0 MPa				
nu= 0,450				

Maximal deflection =33,8 mm/100 (dual-wheel center)
Curvature radius =741,1 m (dual-wheel center)

BETUME 10/20

DEFINIÇÃO:

Betume asfáltico para pavimentação, de acordo com as especificações da EN 13924 para o betume 10/20.

ESPECIFICAÇÕES:

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	NORMA	MIN.	MAX.
Penetração (25°C)	0,1 mm	EN 1426	10	20
Índice de penetração	-	EN 12591	-1,5	+0,7
Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	60	76
Solubilidade	%	EN 12592	99,0	-
Ponto de inflamação	°C	EN ISO 2592	245	-
Resistência ao endurecimento a 163°C (EN 12607-1)				
Varição de massa (valor absoluto)	%	EN 12607-1	-	0,5
Penetração retida	%	EN 1426	55	-
Δ Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	-	10

APLICAÇÕES:

- Misturas betuminosas de alto módulo

TEMPERATURAS ORIENTATIVAS DE TRABALHO:

- Temperatura da mistura (°C): 165-175
- Temperatura do ligante (°C): 165-175
- Temperatura de compactação (°C): 160-170

BETUME 35/50

DEFINIÇÃO:

Betume asfáltico para pavimentação, de acordo com as especificações da EN 12591 para o betume 35/50.

ESPECIFICAÇÕES:

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	NORMA	MIN.	MAX.
Penetração (25°C)	0,1 mm	EN 1426	35	50
Índice de penetração	-	EN 12591	-1,5	+0,7
Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	50	58
Ponto de fragilidade Fraass	°C	EN 12593	-	-5
Solubilidade	%	EN 12592	99,0	-
Ponto de inflamação	°C	EN ISO 2592	240	-
Resistência ao endurecimento a 163°C (EN 12607-1)				
Varição de massa (valor absoluto)	%	EN 12607-1	-	0,5
Penetração retida	%	EN 1426	53	-
Δ Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	-	11

APLICAÇÕES:

- Misturas betuminosas a quente

TEMPERATURAS ORIENTATIVAS DE TRABALHO:

- Temperatura da mistura (°C): 160-165
- Temperatura do ligante (°C): 160-165
- Temperatura de compactação (°C): 150-160

BETUME Borracha BBM 35/50

DEFINIÇÃO:

Betume modificado com borracha procedente de pneus fora de uso.

Apresenta um comportamento idêntico ao correspondente betume modificado com polímeros e as suas características são similares, apresentando maior viscosidade.

ESPECIFICAÇÕES:

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	NORMA	MIN.	MAX.
Penetração (25°C)	0,1 mm	EN 1426	35	50
Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	65	-
Ponto de fragilidade Fraass	°C	EN 12593	-	-8
Recuperação elástica, a 25°C, (modificada para um alongamento de 20 cm)	%	EN 13398	15	-
Viscosidade dinâmica a 175 °C	mPa.s	EN 13302	300	-
Temperatura de inflamação	°C	EN ISO 2592	235	-
Estabilidade ao armazenamento: - Diferença temperatura amolecimento - Diferença penetração (25 °C)	°C 0,1 mm	EN 13399	-	5 8
Resistência ao endurecimento a 163°C (EN 12607-1)				
Variação de massa (valor absoluto)	%	EN 12607-1	-	0,8
Penetração retida	%	EN 1426	70	-
Δ Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	-4	8

APLICAÇÕES:

- Misturas de módulo elevado para reforços
- Misturas convencionais e drenantes em zonas com elevadas temperaturas
- Pavimentos anti-rodadeiras

TEMPERATURAS ORIENTATIVAS DE TRABALHO:

- Temperatura da mistura (°C): 170-180
- Temperatura do ligante (°C): 170-180
- Temperatura de compactação (°C): 165-175

BETUME Borracha BBM 50/70

DEFINIÇÃO:

Betume modificado com borracha procedente de pneus fora de uso.

Apresenta um comportamento idêntico ao correspondente betume modificado com polímeros e as suas características são similares, apresentando maior viscosidade.

ESPECIFICAÇÕES:

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	NORMA	MIN.	MAX.
Penetração (25°C)	0,1 mm	EN 1426	50	70
Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	58	-
Ponto de fragilidade Fraass	°C	EN 12593	-	-10
Recuperação elástica, a 25°C, (modificada para um alongamento de 20 cm)	%	EN 13398	20	-
Viscosidade dinâmica a 175 °C	mPa.s	EN 13302	250	-
Temperatura de inflamação	°C	EN ISO 2592	235	-
Estabilidade ao armazenamento: - Diferença temperatura amolecimento - Diferença penetração (25 °C)	°C 0,1 mm	EN 13399	-	5 10
Resistência ao endurecimento a 163°C (EN 12607-1)				
Variação de massa (valor absoluto)	%	EN 12607-1	-	1
Penetração retida	%	EN 1426	65	-
Δ Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	-5	10

APLICAÇÕES:

- Misturas drenantes
- Misturas descontínuas para camadas de desgaste com categoria de tráfego pesado de T00 a T2
- Misturas betuminosas convencionais

TEMPERATURAS ORIENTATIVAS DE TRABALHO:

- Temperatura da mistura (°C): 165-175
- Temperatura do ligante (°C): 165-175
- Temperatura de compactação (°C): 160-170

Anexo 9 – Terraplenagens

Quadro Movimento de Terras (Via Principal)

Tabela de Movimento de Terras							
Estação	Área de Escavação (m2)	Área de Aterro (m2)	Volume de Escavação (m3)	Volume de Aterro (m3)	Volume Total de Escavação (m3)	Volume Total de Aterro (m3)	Volume Final
0+000.00	6.03	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+012.50	2.69	1.04	54.94	7.51	54.94	7.51	47.43
0+020.30	0.71	1.41	13.36	9.40	68.30	16.90	51.39
0+025.00	0.53	1.78	2.93	7.35	71.23	24.25	46.98
0+037.50	0.86	1.85	8.74	22.23	79.97	46.48	33.49
0+040.61	0.97	1.75	2.84	5.59	82.81	52.07	30.74
0+043.00	0.92	1.78	2.17	4.56	84.98	56.62	28.36
0+045.39	1.05	2.01	2.25	4.89	87.23	61.51	25.72
0+050.00	1.12	1.87	5.01	8.94	92.25	70.46	21.79
0+062.50	5.15	0.49	39.23	14.76	131.48	85.22	46.26
0+075.00	12.98	0.02	113.35	3.21	244.83	88.43	156.40
0+087.50	18.60	0.02	197.42	0.29	442.25	88.73	353.53
0+100.00	14.61	0.00	207.59	0.14	649.84	88.86	560.98
0+112.50	9.59	0.29	151.23	1.83	801.07	90.69	710.37
0+125.00	6.26	3.04	99.02	20.83	900.09	111.53	788.57
0+137.50	3.82	11.21	63.02	89.04	963.11	200.57	762.55
0+147.86	1.07	17.40	25.34	148.22	988.46	348.78	639.67
0+150.00	0.33	18.71	1.59	35.38	990.05	384.16	605.88
0+156.92	0.00	26.62	1.21	148.52	991.26	532.68	458.57
0+162.50	0.00	25.73	0.00	142.47	991.26	675.15	316.11
0+165.97	0.00	24.94	0.00	86.77	991.26	761.92	229.33
0+175.00	0.00	23.83	0.00	220.17	991.26	982.10	9.16
0+176.40	0.00	23.87	0.00	33.31	991.26	1015.41	-24.15
0+187.50	0.00	23.86	0.00	263.19	991.26	1278.60	-287.34
0+200.00	0.00	16.16	0.00	248.14	991.26	1526.74	-535.48

Tabela de Movimento de Terras							
Estação	Área de Escavação (m2)	Área de Aterro (m2)	Volume de Escavação (m3)	Volume de Aterro (m3)	Volume Total de Escavação (m3)	Volume Total de Aterro (m3)	Volume Final
0+208.07	0.00	12.01	0.00	112.69	991.26	1639.43	-648.17
0+212.50	0.00	9.98	0.00	48.33	991.26	1687.76	-696.50
0+225.00	0.00	4.98	0.00	93.02	991.26	1780.77	-789.51
0+237.50	0.05	1.73	0.32	41.81	991.58	1822.58	-831.01
0+239.74	0.22	1.07	0.31	3.09	991.89	1825.67	-833.78
0+250.00	6.01	0.25	31.96	6.75	1023.85	1832.42	-808.57
0+262.50	20.86	0.00	167.92	1.57	1191.77	1833.99	-642.22
0+275.00	26.83	0.00	298.08	0.00	1489.86	1833.99	-344.14
0+287.50	18.22	0.00	281.57	0.00	1771.42	1833.99	-62.57
0+300.00	0.00	7.86	113.85	49.15	1885.27	1883.15	2.13
0+301.56	0.00	8.16	0.00	12.46	1885.27	1895.60	-10.33
0+312.50	0.00	10.96	0.00	104.69	1885.27	2000.29	-115.02
0+325.00	0.00	9.14	0.00	125.20	1885.27	2125.49	-240.21
0+337.50	0.61	2.74	3.86	73.59	1889.14	2199.08	-309.94
0+350.00	0.27	6.01	5.56	53.69	1894.70	2252.77	-358.07
0+354.80	0.00	20.27	0.65	62.40	1895.35	2315.16	-419.81
0+362.50	0.00	33.02	0.00	204.22	1895.35	2519.38	-624.03
0+375.00	0.00	29.85	0.00	391.76	1895.35	2911.14	-1015.79
0+387.50	0.00	15.61	0.00	282.70	1895.35	3193.85	-1298.49
0+400.00	4.12	0.21	25.97	98.08	1921.32	3291.93	-1370.61
0+408.04	17.12	0.00	86.08	0.81	2007.40	3292.74	-1285.34
0+412.40	29.71	0.00	101.94	0.00	2109.33	3292.74	-1183.40
0+412.50	29.96	0.00	3.05	0.00	2112.39	3292.74	-1180.35
0+425.00	44.67	0.00	452.79	0.00	2565.18	3292.74	-727.56
0+431.97	52.11	0.00	327.80	0.00	2892.97	3292.74	-399.76

Tabela de Movimento de Terras							
Estação	Área de Escavação (m2)	Área de Aterro (m2)	Volume de Escavação (m3)	Volume de Aterro (m3)	Volume Total de Escavação (m3)	Volume Total de Aterro (m3)	Volume Final
0+437.50	62.49	0.00	309.07	0.00	3202.05	3292.74	-90.69
0+450.00	65.89	0.00	784.21	0.00	3986.25	3292.74	693.52
0+451.55	63.22	0.00	97.56	0.00	4083.82	3292.74	791.08
0+462.50	39.79	0.00	564.11	0.00	4647.92	3292.74	1355.19
0+475.00	15.91	0.00	348.13	0.00	4996.05	3292.74	1703.31
0+485.28	0.00	0.00	81.81	0.00	5077.86	3292.74	1785.12

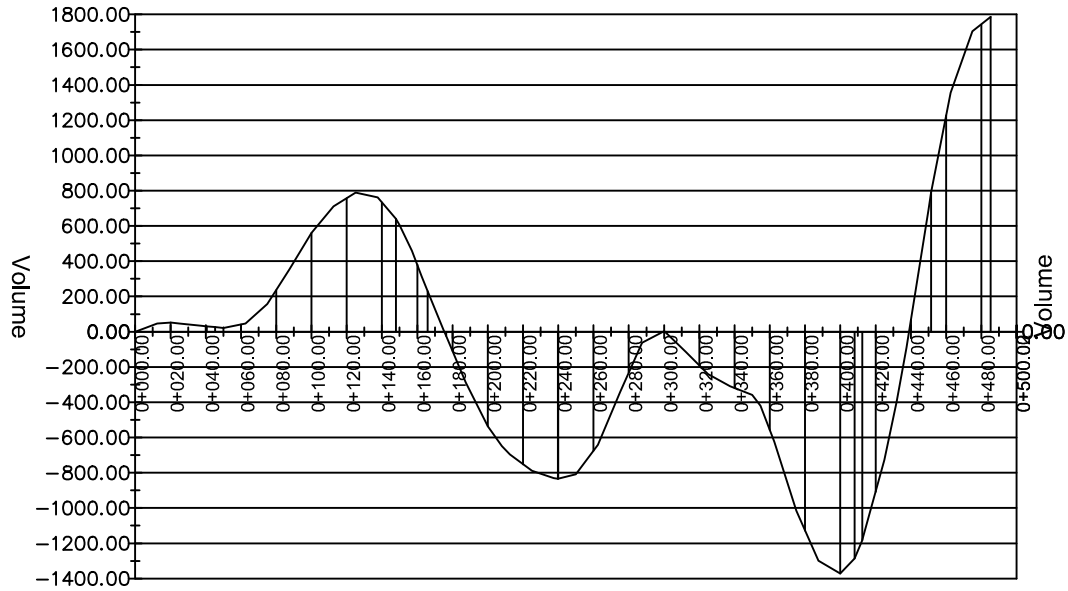
Quadro Movimento de Terras (Rua de ligação à EN222)

Tabela de Movimento de Terras							
Estação	Área de Escavação (m2)	Área de Aterro (m2)	Volume de Escavação (m3)	Volume de Aterro (m3)	Volume Total de Escavação (m3)	Volume Total de Aterro (m3)	Volume Final
0+000.00	24.41	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+012.50	15.96	2.28	252.26	20.91	252.26	20.91	231.35
0+025.00	7.32	3.25	145.46	34.52	397.72	55.43	342.29
0+037.50	6.77	0.64	88.04	24.28	485.76	79.70	406.05
0+038.89	7.49	0.38	9.91	0.71	495.67	80.42	415.26
0+047.33	8.50	0.09	66.54	2.06	562.21	82.47	479.73
0+050.00	9.46	0.43	23.97	0.70	586.18	83.17	503.01
0+055.77	8.53	0.23	50.83	1.96	637.00	85.13	551.87
0+062.50	6.74	0.22	51.35	1.54	688.35	86.66	601.69
0+070.94	5.06	0.20	49.80	1.79	738.15	88.45	649.70
0+075.00	2.94	0.73	16.03	1.93	754.18	90.38	663.80
0+084.00	2.14	0.27	22.65	4.61	776.83	94.99	681.84
0+087.50	2.98	0.05	8.95	0.58	785.78	95.56	690.22
0+097.07	7.39	0.00	49.30	0.27	835.08	95.83	739.24
0+097.17	7.38	0.00	0.77	0.00	835.84	95.83	740.01
0+100.00	6.53	0.00	19.83	0.00	855.68	95.83	759.84
0+112.50	7.28	0.00	85.21	0.00	940.88	95.83	845.05
0+112.69	7.26	0.00	1.40	0.00	942.28	95.83	846.45
0+125.00	4.00	0.05	67.77	0.31	1010.05	96.14	913.91
0+128.22	3.67	0.23	12.01	0.47	1022.06	96.61	925.45
0+142.73	5.17	0.00	64.14	1.66	1086.20	98.27	987.93

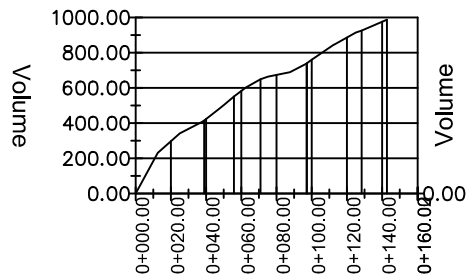
Quadro Movimento de Terras (Rotunda)

Tabela de Movimento de Terras							
Estação	Área de Escavação (m2)	Área de Aterro (m2)	Volume de Escavação (m3)	Volume de Aterro (m3)	Volume Total de Escavação (m3)	Volume Total de Aterro (m3)	Volume Final
-0+000.00	1.30	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+005.00	5.45	0.00	8.51	1.94	8.51	1.94	6.57
0+010.00	17.84	0.00	35.96	0.00	44.47	1.94	42.53
0+015.00	0.00	0.00	28.84	0.00	73.31	1.94	71.37
0+019.63	24.49	0.00	39.41	0.00	112.72	1.94	110.78
0+020.00	27.64	0.00	6.69	0.00	119.41	1.94	117.47
0+025.00	24.69	0.00	87.65	0.00	207.06	1.94	205.12
0+030.00	24.87	0.00	79.64	0.00	286.71	1.94	284.77
0+035.00	24.29	0.00	78.72	0.00	365.43	1.94	363.49
0+039.26	24.53	0.00	65.74	0.00	431.17	1.94	429.23
0+040.00	22.21	0.00	10.88	0.00	442.05	1.94	440.11
0+045.00	18.24	0.00	63.83	0.00	505.88	1.94	503.94
0+050.00	9.69	0.00	42.87	0.00	548.74	1.94	546.80
0+055.00	2.52	0.28	16.81	0.69	565.56	2.63	562.93
0+058.89	0.92	2.45	2.60	4.85	568.16	7.48	560.68
0+060.00	1.28	2.80	0.40	2.64	568.56	10.12	558.44
0+065.00	0.76	3.57	1.60	13.60	570.17	23.72	546.44
0+070.00	0.09	3.70	0.62	14.59	570.79	38.31	532.48
0+075.00	0.28	2.71	0.24	12.60	571.03	50.91	520.12
0+078.52	1.30	1.12	1.11	5.07	572.14	55.98	516.16

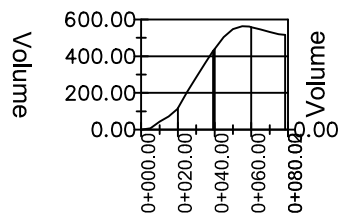
Curva de Volumes Acumulados (Via Principal)



Curva de Volumes Acumulados (Rua de ligação à EN222)





Curva de Volumes Acumulados (Rotunda)





Anexo 10 – Planta de serviços afetados



Legenda:

-  PE POSTES DE ELETRICIDADE
-  PT POSTES DE TELECOMUNICAÇÕES

Este desenho é propriedade do aluno Bruno Pinto (1081752), matriculado no Curso de Engenharia Civil - Infraestruturas no ISEP e encontra-se protegido pelos direitos de autor e direitos conexos, não podendo ser utilizado, reproduzido por todo ou em parte, ou comunicado a terceiros sem a expressa autorização.

Requerente  Câmara Municipal de Cinfães	Projectista  Instituto Superior de Engenharia do Porto Bruno Rafael da Silva Pinto - 1081752 ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto	Designação do projecto Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães	Escalas 1/ 50	Emissões/Revisões			Título Estudo e Projeto de uma Variante Urbana no Concelho de Cinfães Planta de Serviços Afetados	Nº Projecto PE-001-MEC-IE2015
			Especialidade Vias de Comunicação	Fase Projecto de Execução	Rev. Data	Descrição		

