

PROJECTO DE EXECUÇÃO DE UM NÓ DE LIGAÇÃO EM TROMPA

Especialidades de Geometria do Traçado

CARLOS EDUARDO VIEIRA DA SILVA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Orientador: Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França

JANEIRO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A meus Pais

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França, por todo auxílio, ensinamentos e disponibilidade demonstrada ao longo do desenvolvimento deste trabalho. A todos os professores que encontrei durante o curso pelos conhecimentos que me transmitiram. A colegas e amigos pela motivação e ajudas demonstradas. Uma palavra especial para os meus familiares, em especial para os meus pais, que me incentivaram, apoiaram e me deram oportunidade de realizar este trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

A Presente dissertação refere-se ao estudo de um Nó de Ligação na especialidade de Geometria do Traçado. O tipo de nó realizado, em função das características do terreno, é um Nó em Trompa.

Além da elaboração de um conjunto de peças escritas e desenhadas inclui-se no presente trabalho uma compilação de todos os conceitos teóricos adquiridos nas disciplinas de Vias de Comunicação I, Vias de comunicação II e Complementos de Estradas e Aeródromos no domínio de Geometria do Traçado. As diversas etapas realizadas para a execução do Nó em Trompa são então fundamentadas com base nos conceitos teóricos abordados ao longo do trabalho.

Na resolução apresentada fez-se uso de ferramentas de cálculo automático, cujo auxílio é hoje em dia indispensável na elaboração deste tipo de projectos.

PALAVRAS-CHAVE: Geometria do Traçado, Nó de ligação, Trompa, Directriz, Rasante.

ABSTRACT

The present dissertation reports to the study to of a Connection Knot in the speciality of Design Geometry. The type of knot realized, in function to the characteristics of the land, is Trumpet Interchange.

Beyond the elaboration of a set of written and drawn parts, a compilation of all the theoretical concepts acquired in disciplines of Vias de Comunicação I, Vias de Comunicação II and Complementos de Estradas e Aérodromos, is included in this dissertation in the domain of the Design Geometry. The several stages carried through, for the execution of the Trumpet Interchange, are based on the theoretical concepts boarded throughout the work.

In the presented resolution were used tools of automatic calculation, whose aid is nowadays indispensable in the elaboration of this type of projects.

KEYWORDS: Design Geometry, Interchange, Trumpet, Road Guideline, Road Profile.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
2. ELEMENTOS NECESSÁRIOS PARA UM PROJECTO DE VIAS DE COMUNICAÇÃO	3
2.1. ESTUDO DO TRAÇADO DE ESTRADAS	3
2.1.1. GENERALIDADES	3
2.1.2. CONDICIONANTES NA ESCOLHA	3
2.2. ELEMENTOS NECESSÁRIOS PARA UM PROJECTO DE UM NÓ DE LIGAÇÃO	4
2.2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	4
2.2.2. ELEMENTOS NECESSÁRIOS PARA O PROJECTO	5
3. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS PARA A CONCEPÇÃO DE UM TRAÇADO EM PLANTA	7
3.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS EM PLANTA	7
3.1.1. INTRODUÇÃO	7
3.1.2. CURVAS CIRCULARES	7
3.1.3. CURVAS DE TRANSIÇÃO	9
3.1.3.1. Objectivos	9
3.1.3.2. Clotóides	9
3.1.3.3. Piquetagem da curva de transição	15
3.2. PARTICULARIDADES DOS RAMOS DOS NÓS DE LIGAÇÃO	16
3.2.1. CURVAS DE TRANSIÇÃO NOS RAMOS DOS NÓS	16
3.2.2. DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE	17
3.2.3. VELOCIDADE ESPECÍFICA	19
3.2.4. VIAS DE ACELERAÇÃO E ABRANDAMENTO	19
3.2.5. CONSTRUÇÃO DO “TAPER”	21
3.2.6. CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA E DEFINIÇÃO ANALÍTICA	23
3.2.6.1. Loop de ligação entre duas rectas	23
3.2.6.2. Loop em curva circular	24

3.2.6.2.1. Com o mesmo sinal.....	24
3.2.6.2.2. Com sinal contrário.....	26
4. CARACTERÍSTICAS DO PERFIL LONGITUDINAL	29
4.1. GENERALIDADES	29
4.2. EM PLENA VIA	30
4.2.2. TRINEIS.....	30
4.2.3. CONCORDÂNCIAS VERTICAIS.....	31
4.3. PARTICULARIDADES DOS RAMOS DOS NÓS DE LIGAÇÃO	34
4.3.1. TRINEIS.....	34
4.3.2. CONCORDÂNCIAS VERTICAIS.....	35
4.4. COTAS DO PROJECTO	36
4.4.1. EM TRAINEL	36
4.4.2. EM CONCORDÂNCIA	36
4.5. TRAÇADO GERAL.....	37
4.5.1. HOMOGENEIDADE NO TRAÇADO.....	37
4.5.2. COORDENAÇÃO PLANTA-PERFIL	38
5. CARACTERÍSTICAS DO PERFIL TRANSVERSAL	41
5.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PERFIL	41
5.1.1. GENERALIDADES	41
5.1.2. ALTERAÇÃO DO PERFIL TRANSVERSAL	45
5.1.2.1. Sobreelevação em curva circular	45
5.1.2.2. Disfarce da sobreelevação	46
5.1.2.3. Sobrelargura em curva circular	48
5.2. PARTICULARIDADES DOS RAMOS DOS NÓS DE LIGAÇÃO	49
5.2.1. SOBREELEVAÇÃO NOS RAMOS	49
5.2.2. SOBRELARGURA NOS RAMOS	50
5.2.3. NÚMERO DE VIAS DE UM RAMO.....	50
6. PROJECTO DE EXECUÇÃO DE UM NÓ DE LIGAÇÃO EM TROMPA.....	53
6.1. OBJECTIVOS DO PROJECTO.....	53
6.2. CARACTERÍSTICAS DE UM NÓ EM TROMPA.....	53

6.3. ESCOLHAS TOMADAS PARA CONDICIONANTES DO PROJECTO	54
6.3.1. OBRA DE ARTE	54
6.3.2. NÚMERO DE VIAS	55
4.3.3. VELOCIDADE	55
6.4. TRAÇADO EM PLANTA	55
6.4.1. PARTICULARIDADES TEÓRICAS	55
6.4.2. DEFINIÇÃO GEOMÉTRICA.....	56
6.4.2.1. Ramo C+D	56
6.4.2.2. Ramo A	58
6.4.2.3. Ramo B	60
6.4.2.4. Ramo D	62
6.4.2.5. Ramo C	65
6.4.3. DEFINIÇÃO DOS BORDOS EXTERIORES E BERMAS.....	67
6.4.3.1. Ramo C+D	67
6.4.3.2. Ramo A	68
6.4.3.3. Ramo B	69
6.4.3.4. Ramo C	70
6.4.3.5. Ramo D	71
6.4.4. VIAS AUXILIARES ASSOCIADAS AOS RAMOS	72
6.4.4.1. Ramo A	72
6.4.4.2. Ramo B	76
6.4.4.3. Ramo C	79
6.4.4.4. Ramo D	80
6.5. PERFIL LONGITUDINAL	82
6.5.1. PARTICULARIDADES TEÓRICAS	82
6.5.2. RASANTE DOS RAMOS DE LIGAÇÃO.....	83
6.5.2.1. Ramo C+D	83
6.5.2.2. Ramo A	84
6.5.2.3. Ramo B	88
6.5.2.4. Ramo C	92
6.5.2.5. Ramo D	94
7. CONCLUSÃO	97

BIBLIOGRAFIA99

ANEXOS..... 101

A1. DEFINIÇÃO NUMÉRICA DO TRAÇADO EM PLANTA 103

A.1.1. ESTRADA PRINCIPAL..... 105

A.1.2. RAMO C+D..... 107

A.1.3. RAMO A..... 110

A.1.4. RAMO B..... 113

A.1.5. RAMO C..... 116

A.1.6. RAMO D..... 118

A2. DEFINIÇÃO NUMÉRICA DA RASANTE 121

A.2.1. ESTRADA PRINCIPAL..... 123

A.2.2. RAMO C+D..... 125

A.2.3. RAMO A..... 128

A.2.4. RAMO B..... 132

A.2.5. RAMO C..... 136

A.2.6. RAMO D..... 139

A3. DEFINIÇÃO NUMÉRICA DO PERFIL LONGITUDINAL DO TERRENO 143

A.3.1. ESTRADA PRINCIPAL..... 145

A.3.2. RAMO C+D..... 146

A.3.3. RAMO A..... 147

A.3.4. RAMO B..... 148

A.3.5. RAMO C..... 149

A.3.6. RAMO D..... 150

A4. PEÇAS DESENHADAS

DESENHO Nº1 – PLANTA DE IMPLANTAÇÃO

DESENHO Nº2 – PERFIL LONGITUDINAL – ESTRADA PRINCIPAL

DESENHO Nº3 – PERFIL LONGITUDINAL - RAMO C+D

DESENHO Nº4 – PERFIL LONGITUDINAL - RAMO A

DESENHO Nº5 – PERFIL LONGITUDINAL - RAMO B

DESENHO Nº6 – PERFIL LONGITUDINAL - RAMO C

DESENHO Nº7 – PERFIL LONGITUDINAL - RAMO D

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Elementos da curva.....	8
Fig.2 – Localização das curvas de transição	9
Fig.3 – Possibilidade de implantação da clotóide – 1º caso ($\tau < \Omega/2$)	10
Fig.4 - Possibilidade de implantação da clotóide – 2º caso ($\tau = \Omega/2$).....	11
Fig.5 – Possibilidade de implantação da clotóide – 3º caso ($\tau > \Omega/2$)	11
Fig.6 - Forças actuantes num veículo ao descrever uma curva sobreelevada.....	12
Fig.7 – Elementos da curva composta.....	15
Fig.8 - Visibilidade nas entradas da via principal.....	18
Fig.9 – Construção do “Taper” em recta	22
Fig.10 - Loop entre duas rectas.....	23
Fig.11 - Curva Ovóide	25
Fig.12 - Curva em “S”.....	26
Fig.13 - Rasante a 3 dimensões.....	29
Fig.14 - Perfil longitudinal com concordância e traineis.....	31
Fig.15 - Perfil longitudinal só com traineis.....	35
Fig.16 - Concordância vertical convexa	36
Fig.17 - Zona de descontinuidade de traçado	38
Fig.18 - Zona de troços não visíveis	38
Fig.19 - Curva em planta após curva convexa	39
Fig.20 - Curva em planta após curva côncava	39
Fig.21 - Fim de curva em planta numa curva côncava	39
Fig.22 - Curva côncava entre curvas circulares	40
Fig.23 - Exemplo de perfil transversal com faixas separadas.....	42
Fig.24 - Esquema da faixa de rodagem	42
Fig.25 - Largura das bermas num ramo unidireccional de uma via	43
Fig.26 - Valeta triangular	43
Fig.27 - Separador rígido	44
Fig.28 - Talude com presença de baquete de estabilidade	44
Fig.29 - Disfarce da sobreelevação linear.....	46
Fig.30 - Disfarce parabólico da sobreelevação	47
Fig.31 - Variação da Sobreelevação numa estrada de duas vias	47
Fig.32 - Esquema de cálculo da sobrelargura.....	48

Fig.33 - Número de vias por sentido nos ramos de ligação	51
Fig.34 - Ramo unidireccional com uma via	51
Fig.35 - Ramo bidireccional com uma via por sentido	51
Fig.36 - Ramo unidireccional com duas vias.....	51
Fig.37 - Ramo bidireccional com duas vias por sentido	52
Fig.38 – Esquema do tipo de nó em trompa a utilizar	54
Fig.39 - Definição geométrica do eixo do ramo C+D.....	58
Fig.40 - Definição geométrica do bordo direito do ramo A.....	60
Fig.41 - Definição geométrica do bordo direito do ramo B.....	62
Fig.42 - Definição geométrica do bordo direito do ramo D	64
Fig.43 - Definição geométrica do bordo direito do ramo C	66
Fig.44 - Definição geométrica dos bordos e bermas no Ramo C+D	68
Fig.45 - Definição geométrica dos bordos e bermas no Ramo A.....	69
Fig.46 - Definição geométrica dos bordos e bermas no Ramo B.....	70
Fig.47 - Definição geométrica dos bordos e bermas no Ramo C.....	71
Fig.48 - Definição geométrica dos bordos e bermas no Ramo D.....	72
Fig.49 - Via de abrandamento associada ao Ramo A	74
Fig.50 - Via de aceleração associada ao Ramo A.....	75
Fig.51 - Via de entrada associada ao Ramo B.....	77
Fig.52 - Via de aceleração associada ao Ramo B.....	78
Fig.53 - Via de aceleração associada ao Ramo C	80
Fig.54 - Via de abrandamento associada ao Ramo D.....	81
Fig.55 - Esquema de construção de uma concordância a passar por 3 pontos	82

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Valores máximos de Δi	13
Quadro 2 - Parâmetros geométricos para nós de ligação	17
Quadro 3 – Distância de visibilidade de decisão	18
Quadro 4 - Distância de visibilidade na entrada da estrada secundária.....	18
Quadro 5 – Extensão das vias de aceleração e abrandamento.....	20
Quadro 6 – Inclinação máxima dos traneis	30
Quadro 7 - Extensões críticas dos traneis.....	31
Quadro 8 - Raios mínimos das concordâncias convexas	32
Quadro 9 – Desenvolvimentos mínimos em concordâncias convexas	32
Quadro 10 - Raios mínimos em concordâncias côncavas.....	33
Quadro 11 – Desenvolvimentos mínimos em concordâncias côncavas.....	34
Quadro 12 – Inclinação máxima dos traneis dos ramos dos nós	34
Quadro 13 - Quadro auxiliar para cálculo do raio mínimo das concordâncias nos ramos dos nós de ligação	35
Quadro 14 - Sobreelevação em curva circular	45
Quadro 15 – Sobreelevação nos ramos de ligação.....	49
Quadro 16 - Variação máxima da sobreelevação nos ramos de ligação	49
Quadro 17 – Diferença máxima entre a inclinação transversal da estrada principal e de um ramo de ligação	50
Quadro 18 - Sobrelargura das curvas dos ramos de ligação.....	50
Quadro 19 – Estrada principal – Ponto inicial e final	105
Quadro 20 - Estrada principal – Listagem das coordenadas da directriz	105
Quadro 21 – Estrada principal – Listagem das coordenadas relacionadas com o aumento de 1 para 2 vias.....	106
Quadro 22 - Ramo C+D – Alinhamento recto 1.....	107
Quadro 23 – Ramo C+D – Clotóide 1	107
Quadro 24 - Ramo C+D – Curva circular 1	108
Quadro 25 – Ramo C+D – Clotóide 2	108
Quadro 26 - Ramo C+D – Alinhamento recto 2.....	108
Quadro 27 – Ramo C+D – Clotóide 3.....	109
Quadro 28 - Ramo C+D – Curva circular 1	109
Quadro 29 – Ramo C+D – Listagem das coordenadas da directriz.....	109
Quadro 30 - Ramo A – Clotóide 1.....	110

Quadro 31 – Ramo A – Curva circular 1	110
Quadro 32 - Ramo A – Clotóide 2.....	111
Quadro 33 – Ramo A – Listagem das coordenadas da directriz.....	111
Quadro 34 - Ramo A – Listagem das coordenadas do “taper” da via de abrandamento	111
Quadro 35 – Ramo A – Listagem das coordenadas do “taper” da via de aceleração.....	112
Quadro 36 - Ramo B – Clotóide 1.....	113
Quadro 37 – Ramo B – Curva circular 1	113
Quadro 38 - Ramo B – Clotóide 2.....	114
Quadro 39 – Ramo B – Listagem das coordenadas da directriz.....	114
Quadro 40 - Ramo B – Listagem das coordenadas do “taper” da via de entrada no ramo	114
Quadro 41 – Ramo B – Listagem das coordenadas do “taper” da via de aceleração.....	115
Quadro 42 - Ramo C – Curva circular 1.....	116
Quadro 43 – Ramo C – Clotóide 1.....	116
Quadro 44 - Ramo C – Listagem das coordenadas da directriz	117
Quadro 45 – Ramo C – Listagem das coordenadas da via de aceleração	117
Quadro 46 - Ramo D – Clotóide 1	118
Quadro 47 – Ramo D – Curva circular 1.....	118
Quadro 48 - Ramo D – Clotóide 2	119
Quadro 49 – Ramo D – Clotóide 3.....	119
Quadro 50 – Ramo D – Listagem das coordenadas da directriz.....	119
Quadro 51 – Ramo D – Listagem das coordenadas do “taper” da via de abrandamento	120
Quadro 52 - Estrada Principal – Trainel 1	123
Quadro 53 – Estrada Principal – Listagem das cotas da rasante	123
Quadro 54 - Ramo C+D – Concordância vertical 1	125
Quadro 55 – Ramo C+D – Trainel 1	125
Quadro 56 - Ramo C+D – Concordância vertical 2	126
Quadro 57 – Ramo C+D – Trainel 2	126
Quadro 58 - Ramo C+D – Concordância vertical 3	126
Quadro 59 – Ramo C+D – Trainel 3.....	127
Quadro 60 – Ramo C+D – Listagem das cotas da rasante	127
Quadro 61 – Ramo A – Pontos notáveis da entrada.	128
Quadro 62 - Ramo A – Pontos notáveis da saída.	128
Quadro 63 – Ramo A – Trainel 1.....	128
Quadro 64 - Ramo A – Concordância vertical 1	129

Quadro 65 – Ramo A – Trainel 2.....	129
Quadro 66 - Ramo A – Concordância vertical 2.....	129
Quadro 67 – Ramo A – Trainel 3.....	130
Quadro 68 - Ramo A – Concordância vertical 3.....	130
Quadro 69 – Ramo A – Trainel 4.....	130
Quadro 70 – Ramo A – Concordância vertical 4.....	131
Quadro 71 – Ramo A – Trainel 5.....	131
Quadro 72 - Ramo A – Listagem das cotas da rasante.....	131
Quadro 73 – Ramo B – Pontos notáveis da entrada.....	132
Quadro 74 - Ramo B – Pontos notáveis da saída.....	132
Quadro 75 – Ramo B – Trainel 1.....	132
Quadro 76 - Ramo B – Concordância vertical 1.....	133
Quadro 77 – Ramo B – Trainel 2.....	133
Quadro 78 - Ramo B – Concordância vertical 2.....	133
Quadro 79 – Ramo B – Trainel 3.....	134
Quadro 80 – Ramo B – Concordância vertical 3.....	134
Quadro 81 – Ramo B – Trainel 4.....	134
Quadro 82 - Ramo B – Concordância vertical 4.....	135
Quadro 83 – Ramo B – Trainel 5.....	135
Quadro 84 - Ramo B – Listagem das cotas da rasante.....	135
Quadro 85 – Ramo C – Pontos notáveis da entrada.....	136
Quadro 86 - Ramo C – Pontos notáveis da saída.....	136
Quadro 87 – Ramo B – Trainel 1.....	136
Quadro 88 - Ramo C – Concordância vertical 1.....	137
Quadro 89 – Ramo C – Trainel 2.....	137
Quadro 90 – Ramo C – Concordância vertical 2.....	137
Quadro 91 – Ramo C – Trainel 3.....	138
Quadro 92 - Ramo C – Listagem das cotas da rasante.....	138
Quadro 93 – Ramo D – Pontos notáveis da entrada.....	139
Quadro 94 - Ramo D – Pontos notáveis da saída.....	139
Quadro 95 – Ramo D – Trainel 1.....	139
Quadro 96 - Ramo D – Concordância vertical 1.....	140
Quadro 97 – Ramo D – Trainel 2.....	140
Quadro 98 - Ramo D – Concordância vertical 2.....	140

Quadro 99 – Ramo D – Trainel 3.....	141
Quadro 100 – Ramo D – Listagem das cotas da rasante.....	141
Quadro 101 – Estrada Principal – Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno	145
Quadro 102 - Ramo C+D – Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno.....	146
Quadro 103 – Ramo A – Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno.....	147
Quadro 104 - Ramo B – Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno.....	148
Quadro 105 – Ramo C – Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno.....	149
Quadro 106 - Ramo D – Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno	150

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

N.N.L. – Norma de Nós de Ligação;

N.I. – Norma de Intersecções;

N.T. – Normas de Traçado;

N.E. – Normas Espanholas;

P.I. – Passagem inferior;

P.S. – Passagem superior;

J.A.E. – Junta Autónoma de Estradas;

V.C.I – Disciplina de Vias de Comunicação I;

V.C.II – Disciplina de Vias de Comunicação II;

CEA – Disciplina de Complementos de Estradas e Aeródromos;

E.P.- Estradas de Principal;

E.S. – Estrada Secundária.

1

INTRODUÇÃO

Em qualquer projecto de Vias de Comunicação, a análise das características geométricas constituintes do traçado procuram cumprir uma velocidade base que garanta segurança e comodidade para os condutores. Existem várias condicionantes que influenciam a escolha do traçado, destacando-se as características geométricas, topográficas, condicionantes urbanísticas, o meio ambiente e o custo. Estes factores devem ser analisados e conjugados de forma a se obter uma solução que se integre bem no terreno e seja económica e segura.

A definição geométrica do traçado em planta (directriz) e em perfil longitudinal (rasante) definem a escolha do traçado. Recorre-se aos regulamentos em vigor para delinear esse traçado, onde se encontra informação sobre os critérios de dimensionamento dos parâmetros geométricos. Destacam-se as “Normas do Traçado”, “Normas de Ligação” e “Normas de intersecções”.

O trabalho está organizado em duas partes, uma primeira onde se descrevem todos os conceitos teóricos para a concepção de um nó de ligação tendo como base as normas e os conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Vias de Comunicação I, Vias de Comunicação II, e Complementos de Estradas e Aeródromos. Numa segunda parte aplicam-se esses conceitos no desenvolvimento de um Nó de Ligação em Trompa, apresentando-se uma memória descritiva das escolhas tomadas assim como todos os dados dos elementos constituintes da directriz e rasante e por fim apresentam-se as peças desenhadas do referido nó.

2

ELEMENTOS NECESSÁRIOS PARA UM PROJECTO DE VIAS DE COMUNICAÇÃO

2.1. ESTUDO DO TRAÇADO DE ESTRADAS

2.1.1. GENERALIDADES

Qualquer obra de engenharia, mas particularmente os projectos de vias de comunicação, são problemas complexos devido à subjectividade e indeterminações encontradas à partida. No caso do projecto de uma estrada as soluções são infinitas. Além do cumprimento das normas geométricas o projectista vai-se deparar com inúmeros parâmetros de escolha que vão condicionar o traçado ficando umas soluções em detrimento de outras dependentes do ponto de vista do projectista.

Duas condicionantes que vão influenciar fortemente a escolha do traçado são o investimento inicial na obra e as suas características geométricas. Melhores características geométricas implicam maior investimento. Assim, logo numa primeira fase, o projectista e dono de obra têm de fazer as suas escolhas. Ficam assim claras as dificuldades na obtenção da “solução óptima”, pois esta fica dependente do ponto de vista segundo o qual é encarado o traçado e da experiência e bom senso das escolhas do projectista.

2.1.2. CONDICIONANTES NA ESCOLHA

Na fase de desenvolvimento do traçado em planta e perfil, o projectista ver-se-á confrontado com inúmeras indeterminações para encontrar uma boa solução, pois encontrará inúmeras condicionantes para essa escolha, como características técnico - geométricas, topográficas, hidrológicas, geológico - geotécnicas, ocupação do solo, paisagísticas e de impacto ambiental.

- Características técnico - geométricas

A velocidade de projecto pretendida vai obrigar a fixar características mínimas ou máximas para alguns elementos do traçado. Essas características técnicas, directa ou indirectamente, vão

influenciar a escolha do traçado. Como principais características pode-se referir os raios mínimos das curvas em planta ou verticais e rampas máximas.

- Características topográficas

A topografia do terreno é normalmente uma das principais características que influenciam a escolha do traçado, principalmente se o terreno for muito acidentado. Por razões económicas pretende-se passar a rasante da estrada o mais próxima possível do terreno natural de forma a minimizar e compensar os volumes de escavação e aterro, pois são estes responsáveis por uma parte significativa dos custos de construção.

- Hidrologia

A altura mínima da rasante vai estar dependente do dimensionamento dos aquedutos que a iram atravessar. É então necessário conhecer as intensidades de precipitação esperadas na região e as áreas das bacias hidrográficas.

- Características geológico - geotécnicas

É importante conhecer as características dos terrenos intersectados pelo traçado pois podem influenciar a sua escolha. Principalmente em zonas baixas, o terreno pode ser constituído por materiais aluvionares, que podem apresentar fracas características de resistência e deformabilidade compatíveis com a carga do aterro que, sobre esse terreno vai ser colocado.

- Ocupação do solo

A escolha do traçado está sempre dependente de construções já existentes. Devem evitar-se traçados que afectem essas construções ou caso seja necessário optar-se pela expropriação das mais degradadas. A localização da rede viária já existente também pode condicionar o traçado. Caso sejam permitidos cruzamentos de nível a sua rasante tem de intersectar as estradas existentes à mesma cota, caso contrário esta terá de ter um “gabarit” mínimo de 5 metros.

- Condicionantes paisagísticas e de impacto visual

Qualquer obra de construção tem impactos a nível visual, mas no caso da abertura de uma estrada esse impacto será mais visível devido à sua dimensão. Grandes escavações e aterros têm um impacto negativo no meio circundante, pois surgem como “feridas” introduzidas pela mão do homem. Para minimizar estes efeitos pode optar-se pela construção de túneis e viadutos mas estes aumentam significativamente os custos de construção.

2.2. ELEMENTOS NECESSÁRIOS PARA UM PROJECTO DE UM NÓ DE LIGAÇÃO

2.2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Um nó de ligação é constituído por um conjunto de ramos que permite a ligação entre estradas que se cruzam a níveis diferentes, de modo a eliminar os pontos de conflito. São locais onde as correntes de tráfego sofrem interferências de outras correntes de tráfego e a melhor forma de eliminá-los é através da construção de um nó de ligação. A decisão de construir um nó de

ligação é baseada essencialmente em critérios funcionais, aumentando a capacidade e segurança das intersecções.

Ao longo do traçado deve haver uniformidade das características operacionais para que os condutores não se deparem com grandes diferenças no traçado. Os nós devem estar bem sinalizados e evitar proximidade entre entradas e saídas para não criar confusão e trajectórias equívocas. O espaçamento mínimo entre nós, segundo a Norma de Nós de Ligação, deve ser de 1Km em zona urbana e 4Km em zona rural. O estudo de um nó de ligação não deve então ser feito de forma isolada, mas sim analisando todo o lanço de estrada em que se insere.

2.2.2. ELEMENTOS NECESSÁRIOS PARA O PROJECTO

A escolha e o local do nó são influenciados por várias condicionantes como: o volume e composição do tráfego, a velocidade, os condicionamentos urbanísticos e topográficos, a segurança, a rede viária local, o impacte ambiental e o custo.

De seguida descrevem-se três elementos que necessitam ser conhecidos à partida para a realização de um projecto de um nó:

- Tráfego

Os nós de ligação são normalmente zonas críticas da rede viária logo o tráfego é um elemento condicionante para a sua execução. Tráfego médio diário, volumes horários de projecto, assim como a composição do tráfego são elementos que condicionam o projecto, logo tem de ser previamente estudados. No caso de reconstrução de uma intersecção deve-se estudar a situação do tráfego e movimentos específicos já existentes. No caso de uma nova construção a análise é mais complexa pois envolve estudos do tipo origem-destino.

As projecções de tráfego assim como a velocidade base devem corresponder a cada ramo no ano horizonte, que deverá ser de 20 anos após a abertura prevista ao tráfego.

- Segurança

A segurança dos utentes é sempre o ponto essencial do projecto. Para se prever a segurança devem-se analisar as condições operacionais de nós semelhantes. As zonas que exigem mais atenção por parte dos condutores devem merecer uma maior atenção, tanto por parte do condutor como do projectista. Vias de aceleração e abrandamento, curvas circulares e de transição, tipo de pavimento e protecção lateral destacam-se como elementos a ter em conta. Para se assegurar uma condução nocturna com a mesma segurança que a diurna todos os nós de ligação, assim como a sua zona de influência, devem estar devidamente iluminados.

- Meio ambiente

Um nó de ligação implica sempre a construção de uma ou várias estruturas que vão provocar um impacte ambiental negativo. De forma a minimizar esse impacte, tanto para o condutor como para aqueles que se encontra no exterior, deve-se ter em atenção a forma das estruturas construídas, o número e extensão das vias e os taludes e tentar integra-los no meio ambiente envolvente.

3

CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS PARA A CONCEPÇÃO DE UM TRAÇADO EM PLANTA

3.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS EM PLANTA

3.1.1. INTRODUÇÃO

A trajectória percorrida por um veículo é definida pelo traçado em planta ou directriz. Esta é constituída por uma sucessão de alinhamentos rectos e curvos. Para que não existam descontinuidades de curvatura os alinhamentos curvos são constituídos por um arco de circunferência central com um raio constante e dois arcos de curva com raio variável que estabelecem a ligação entre o alinhamento recto e curva circular central. A directriz pode no entanto ser desprovida de alinhamentos rectos, sendo apenas constituída por uma sucessão de curvas osculadoras entre si e às curvas circulares, denominando-se de traçados flexíveis.

A interacção entre os constituintes do traçado em planta depende dos seguintes factores:

- Relevo topográfico;
- Ocupação do solo;
- Natureza do tráfego;
- Distância de visibilidade.
- Homogeneidade do traçado;
- Condições climatéricas;
- Aderência do pneu/pavimento.

3.1.2. CURVAS CIRCULARES

A escolha do raio da curva circular está dependente da velocidade de circulação que pretendemos adoptar. Raios elevados proporcionam velocidades de circulação maiores com maior segurança, comodidade e melhores distâncias de visibilidade. No entanto, devido a diversos factores como o relevo topográfico e ocupação do solo tem de se adoptar raios menores de forma a adaptarem-se melhor ao terreno e proporcionar uma economia de construção. O valor dos raios mínimos a adoptar são indicados nas “Normas do Traçado”. Os valores dos raios adoptados devem ter em consideração a coordenação com o perfil longitudinal de forma a não

se obter combinações desfavoráveis no que se refere à visibilidade e conseqüente segurança para o condutor.

A materialização no terreno, feita por cravação de pequenas estacas, é designada por piquetagem da curva circular.

Para definir uma curva circular basta conhecer o ângulo dos alinhamentos e o seu raio R, sendo o primeiro medido e o segundo fixado pelo projectista. Estando esta definida pode-se então determinar os pontos por onde ela passa:

- Elementos da curva

Os elementos da curva são obtidos através de fórmulas, sendo estes a tangente “t”, bissectriz “d” e desenvolvimento “d”.

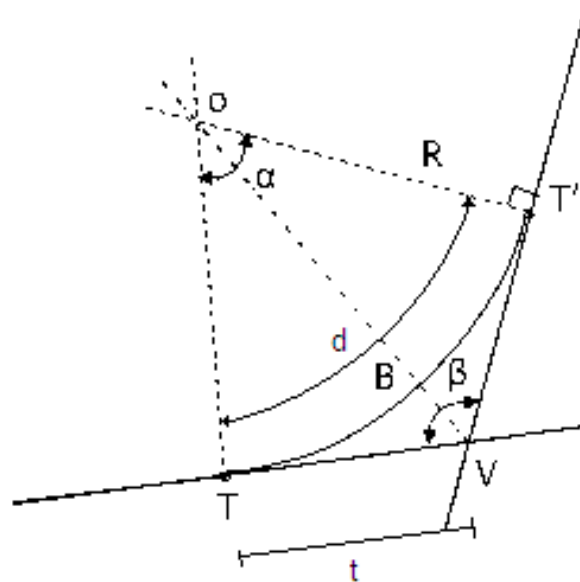


Fig.1 – Elementos da curva.

$$t = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = R \cdot \operatorname{cotg} \frac{\beta}{2} \quad (1)$$

$$d = R \cdot \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) = R \cdot \left(\operatorname{cosec} \frac{\beta}{2} - 1 \right) \quad (2)$$

$$d = R \cdot \alpha_{rad} \quad (3)$$

- Pontos principais da curva

Os pontos principais são os pontos de tangencia “T” e “T’”, pontos os quais a curva é tangente com a recta, isto é, os seus raios são iguais, sendo no caso de uma recta ∞ e o ponto de bissectriz “B”, onde uma recta que liga o centro e intersecção das duas rectas intersecta a curva circular.

3.1.3. CURVAS DE TRANSIÇÃO

3.1.3.1. Objectivos

Quando uma estrada é constituída apenas por rectas e curvas circulares o condutor ao passar de uma recta para uma curva a sua curvatura passa instantaneamente de 0 para $1/R$ o que significa que o condutor teria de actuar repentinamente no volante, o que é impossível. Na prática o condutor vai descrever uma curva de raio variável, indo este de ∞ , no caso de recta, até ao valor do raio da curva circular, descrevendo então um traçado que fisicamente não foi projectado. As curvas de transição destinam-se a projectar no terreno esse tipo de trajectória tendo como principais objectivos:

- Limitar o “grau de incómodo” do condutor traduzido pela variação da aceleração centrífuga, ac , na unidade de tempo

e as vantagens adicionais:

- Facilitar a manutenção do veículo dentro da sua via de tráfego;
- Aumentar a comodidade óptica para o condutor;
- Permitir o disfarce gradual e criterioso da sobrelevação (SE) e da sobrelargura (SL) entre o alinhamento recto e a curva circular.

3.1.3.2. Clotóides

As curvas de transição escolhidas para o traçado de estradas são as Clotóides. Estas asseguram uma variação gradual da curvatura e um decrescimento linear do raio ao longo do caminho percorrido. São curvas geralmente introduzidas entre os alinhamentos rectos e as curvas circulares, cujo raio, R , é variável, diminuindo desde o valor ∞ no alinhamento recto até ao valor do raio da curva circular, R_c .

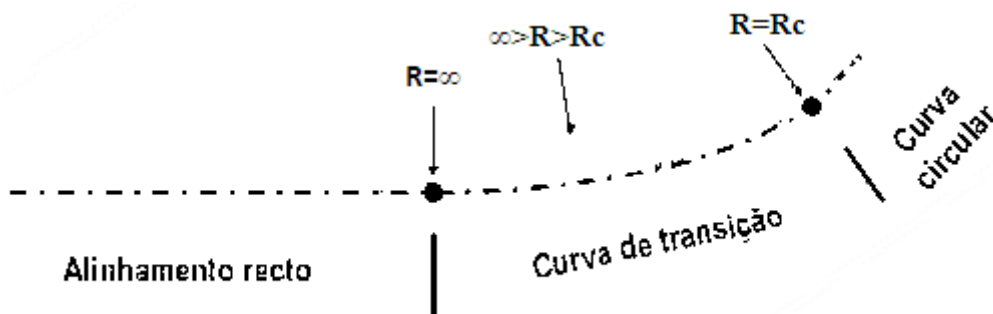


Fig.2 – Localização das curvas de transição.

A equação intrínseca da clotóide é:

$$A^2 = R \times L \quad (4)$$

R – raio da clotóide num determinado ponto (m);

L – extensão da clotóide desde o ponto inicial ate ao ponto em análise (m);

A – parâmetro da clotóide – constante (m).

O valor do parâmetro A é definido pelo projectista e quanto mais elevado for mais “suave” será a transição.

Antes de se dimensionar o parâmetro é necessário verificar as condições geométricas de possibilidade de implantação da clotóide. Uma vez conhecidos L e R calcula-se τ . Este exprime o valor do ângulo que a tangente à curva em qualquer ponto faz com a parte positiva do eixo dos xx. Assim:

$$\tau = \frac{L^2}{2.A^2} = \frac{L}{2.R} \quad (5)$$

Comparado com o ângulo de desvio Ω dos alinhamentos podemos obter três casos:

1º caso – $\tau < \frac{\Omega}{2}$

2º caso – $\tau = \frac{\Omega}{2}$

3º caso – $\tau > \frac{\Omega}{2}$

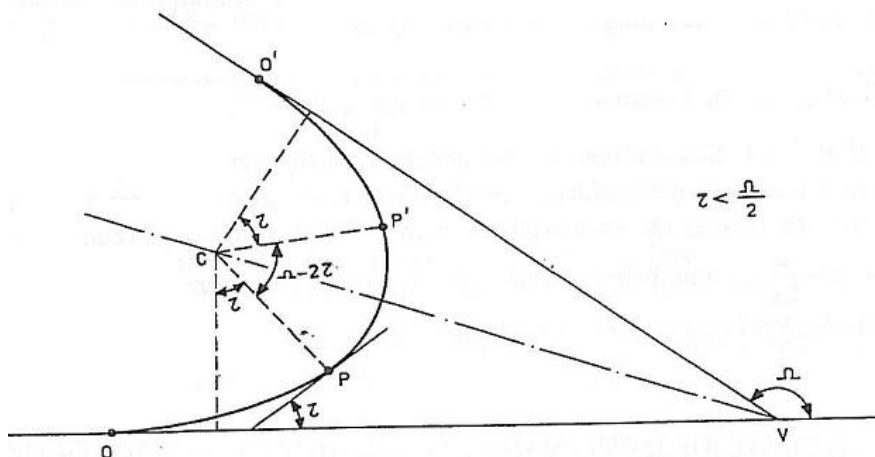
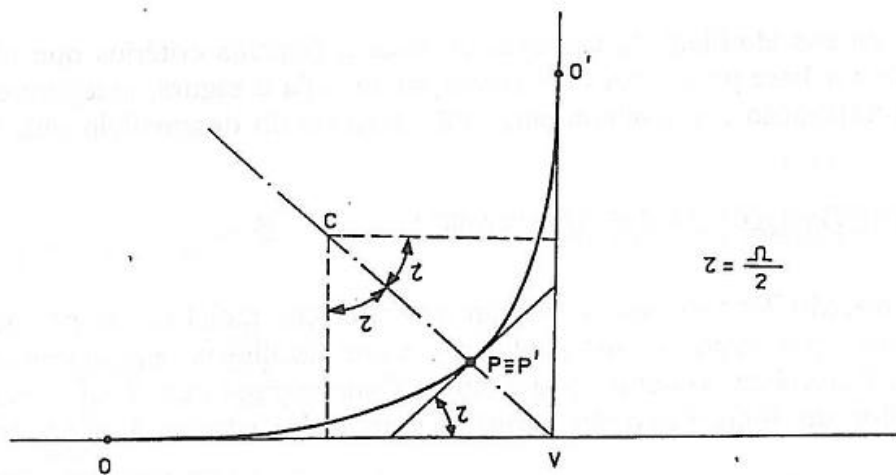
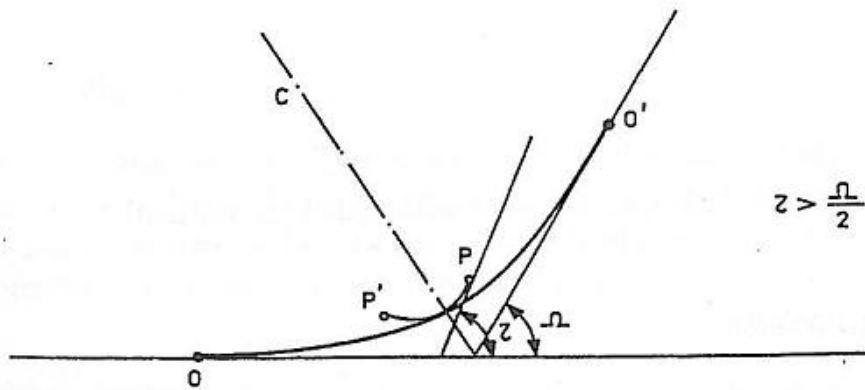


Fig.3 – Possibilidade de implantação da clotóide – 1º caso ($\tau < \Omega/2$)


 Fig.4 – Possibilidade de implantação da clotóide – 2º caso ($\tau = \Omega/2$)

 Fig.5 – Possibilidade de implantação da clotóide – 3º caso ($\tau > \Omega/2$)

No 1º caso, que é o mais comum, existem duas clotóides unidas por uma curva circular. No 2º caso, os dois alinhamentos rectos concordam-se por clotóides simétricas em relação à bissectriz do ângulo e tangente no ponto de bissectriz, não existindo assim curva circular. Por fim o 3º caso não é possível pois as curvas de transição cortar-se-iam na bissectriz, sendo necessário alterar o ângulo dos alinhamentos ou o raio.

O dimensionamento das clotóides obedece a vários critérios que têm como base proporcionar uma condução segura e cómoda. Os quatro critérios de dimensionamento das clotóides serão explicados de seguida.

a) Critério de comodidade e segurança

O grau de incomodidade, isto é, a variação da aceleração radial no tempo deve ser limitada, sendo no máximo $0,5 \text{ m/s}^3$. Para uma dada velocidade e um raio da curva circular, a variação da força centrífuga dependerá da extensão da transição, sendo tanto maior quanto menor for a sua extensão.

A sobreaceleração normal, no caso da clotóide, é traduzida pela seguinte expressão:

$$S_{an} = \frac{v^3}{A^2} \quad (6)$$

S_{an} – Sobreaceleração radial (m/s^3);

V – Velocidade do veículo (m/s);

A – Parâmetro da clotóide (m).

O veículo ao descrever uma curva circular sobreelevada vai ser submetido a uma aceleração centrífuga não compensada pela sobreelevação (j) reduzindo assim o valor da sobreaceleração radial:

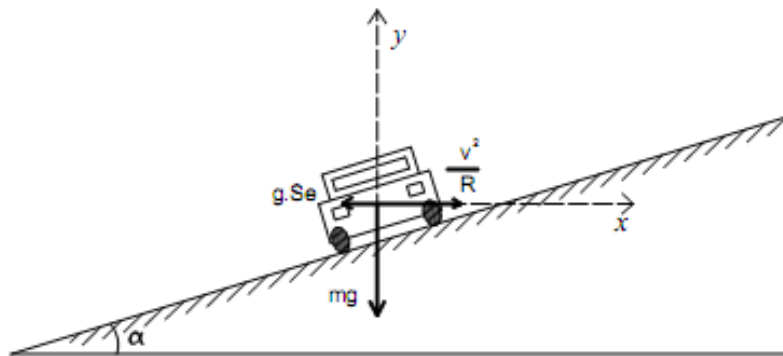


Fig.6 – Forças actuantes num veículo ao descrever uma curva sobreelevada.

j – Aceleração centrífuga não compensada pela sobreelevação (m/s^2);

V – Velocidade do veículo (m/s);

R – Raio da curva circular (m);

g – Aceleração da gravidade (m/s^2);

Se – Sobreelevação.

O grau de incomodidade resultante, com a V em Km/h , será então:

$$S_{an} = \frac{V(\frac{V^2}{R} - 127Se)}{46,7.L} \quad (7)$$

Substituindo $L=A^2/r$ e conhecido j

$$A_1 \geq \sqrt{\frac{V.R}{46,656 S_{an}} (\frac{V^2}{R} - 127Se)} \quad (8)$$

b) Critério ligado ao disfarce de sobrelevação

O disfarce da sobrelevação deve ser feito ao longo das curvas de transição, partindo desde logo de um perfil já sobreelevado com inclinação da via de intradorso em alinhamento recto. O valor da inclinação longitudinal Δi no disfarce do limite da faixa de rodagem no extradorso da curva é limitado a um valor máximo, por razões de comodidade e segurança. Os valores máximos são indicados na tabela seguinte:

Quadro 1 – Valores máximos de Δi .

VT (Km/h)	Δi (%) máx
< 40	1,5
$40 \leq VT \leq 80$	1,0
> 80	0,8

Para se assegurar uma boa drenagem lateral é necessário também fixar valores mínimos do Δi :

$$\Delta i_{min} = 0,1 \times l \quad (9)$$

l – distância do eixo de rotação ao bordo da faixa de rodagem (m).

Por vezes, pode existir incompatibilidade entre os dois valores, pelo que nesse caso deverá ser sempre escolhido o termo relacionado com o Δi_{min} por questões de drenagem.

Para alcançarmos a expressão das Normas do Traçado, despreza-se o valor de $i \times a$ e fica:

$$\Delta i = \frac{a \cdot Se}{2 \times l} \quad (10)$$

Finalmente podemos obter o valor do parâmetro assegurando Δi_{min} e Δi_{max} simultaneamente. Substituindo $L = A^2/r$ obtemos:

$$\sqrt{\frac{R \cdot a \cdot Se}{2 \times \Delta i_{max}}} \leq A_2 \leq \sqrt{\frac{R \cdot a \cdot Se}{2 \times \Delta i_{min}}} \quad (11)$$

Δi – Diferença de inclinação entre o bordo exterior e o eixo (%);

a – Largura da faixa de rodagem (m);

Se – Sobrelevação (%);

R – Raio da curva circular (m);

A – Parâmetro da clotóide (m).

No capítulo referente às alterações do perfil transversal será explicado mais detalhadamente o disfarce da sobrelevação.

c) Critério estético

Para que não sejam desagradáveis esteticamente, as curvas de transição devem ter uma extensão tal que o percurso demore, pelo menos, 2 s a ser percorrido.

Substituindo $L=A^2/R$ e $V(\text{m/s}) = V(\text{Km/h})/3,6$

$$A_3 \geq \sqrt{\frac{R.V}{1,8}} \quad (12)$$

A – Parâmetro da clotóide (m);

R – Raio da curva circular (m);

V – Velocidade específica (Km/h).

d) Critério de comodidade óptica

Para que a introdução de curvas de transição produza comodidade óptica no condutor, isto é, uma boa percepção da curva, o seu desenvolvimento deve ser tal que o ângulo das tangentes τ seja pelo menos igual a 1/18 rad.

Sabendo que:

$$\tau = \frac{1}{2 \times R} \quad \text{e} \quad L = \frac{A^2}{R}$$

Obtemos

$$A_4 \geq \frac{1}{3} R \quad (13)$$

A – Parâmetro da clotóide (m);

R – Raio da curva circular (m).

Cumpridos os 4 critérios e condição de implantação pode acontecer que o intervalo de valores para o parâmetro seja elevado. Então deve-se procurar que o desenvolvimento da clotóide esteja no intervalo:

$$\frac{d}{2} \leq L \leq d \quad (14)$$

d – Desenvolvimento da curva circular (m);

L – Extensão da clotóide (m).

Como $d = (\Omega - 2\tau).R$, onde Ω é o ângulo de desvio dos alinhamentos rectos e $\tau = L/(2.R)$, então;

$$\frac{1}{2}(\Omega - 2\tau).R \leq 2.\tau.R \leq (\Omega - 2\tau).R$$

Visto que $\tau = L/(2.R)$ e $L=A/r$, tem-se finalmente:

$$R \cdot \sqrt{\frac{\Omega_{rad}}{3}} \leq A \leq R \cdot \sqrt{\frac{\Omega_{rad}}{2}} \quad (15)$$

Quando as curvas circulares tiverem um raio suficientemente elevado de modo a não necessitarem de sobrelevação, as curvas de transição podem ser dispensadas pois um dos objectivos principais da utilização das curvas de transição era o de serem o local ideal para o disfarce de sobrelevação. Outra das razões é que para raios elevados as acelerações normais são muito pequenas provocando incomodidades insignificantes, logo, não se justifica o uso das curvas de transição.

É ainda importante referir que o raio depende da velocidade pretendida, do espaço disponível e do desnível a vencer.

3.1.3.3. Piquetagem da curva de transição

Para fazer a piquetagem da curva de transição há elementos que são fundamentais. Na figura seguinte podem-se observar alguns desses elementos:

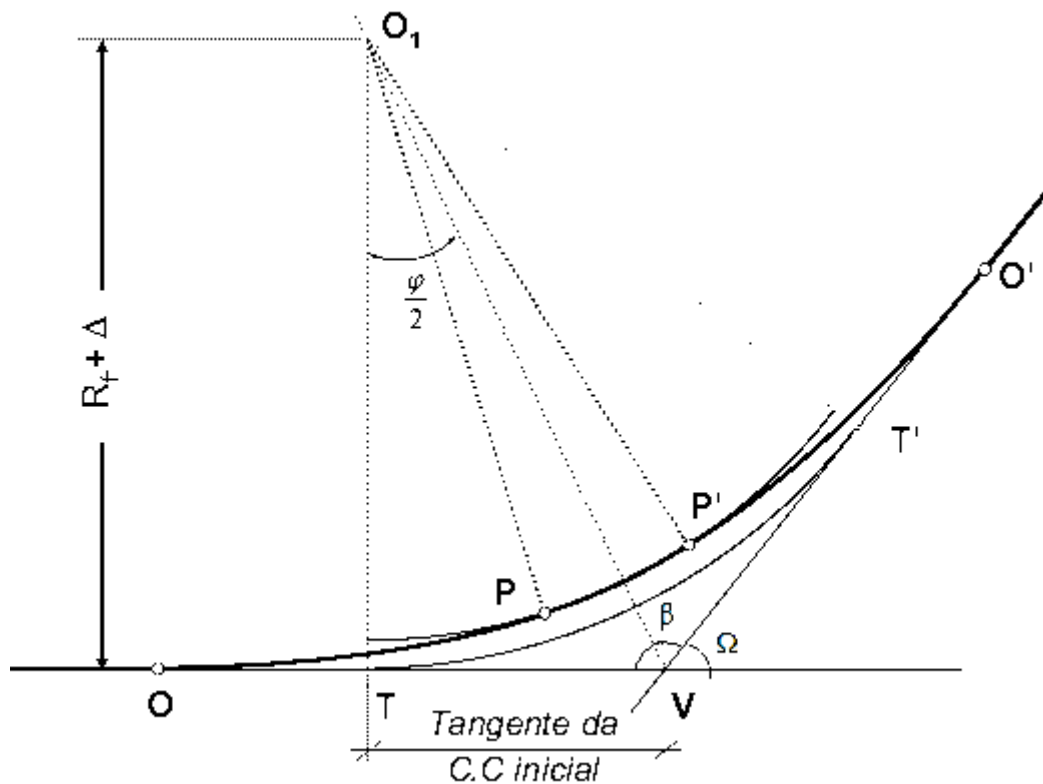


Fig.7 – Elementos da curva composta

Na figura é possível observar a curva circular central (PP'), dois arcos de clotoide (OP e O'P'). Os pontos O e O' correspondem aos pontos de osculação entre os arcos de clotoide e recta sendo o raio igual a ∞. Os pontos P e P' correspondem aos pontos de osculação entre a curva circular e os arcos de clotoide e aí o raio será igual ao raio da curva circular “R”. Na figura é possível observar também a ripagem Δr da curva circular, que corresponde à diferença de raios

R' e R entre as curvas circulares descritas. Em seguida apresentam-se algumas expressões já simplificadas mais usadas na piquetagem das curvas compostas.

- Ripagem:

$$\Delta r = \frac{A^4}{24.R^3} \quad (16)$$

- Distância do vértice ao ponto de osculação recta/clotóide (VO):

$$(OV) = (OT) + (TV)$$

(OT) é normalmente representado por X_m

$$X_m = X - R \cdot \text{sen} \tau \quad (17)$$

X representa a abcissa do último ponto de clotóide (P) no sistema de eixos convencional com a origem em O, e obtido das equações paramétricas da curva

$$x = l - \frac{l^5}{40.A^4} + \frac{l^9}{3456.A^8} - \dots \quad (18)$$

$$y = \frac{l^3}{6.A^2} - \frac{l^7}{336.A^6} + \frac{l^{11}}{42240.A^{10}} - \dots \quad (19)$$

- Desenvolvimento da curva circular (PP'):

$$d = R \cdot \Omega_{rad} \quad (20)$$

- Desenvolvimento total (OO')

$$D = 2.L + d \quad (21)$$

3.2. PARTICULARIDADES DOS RAMOS DOS NÓS DE LIGAÇÃO

3.2.1. CURVAS DE TRANSIÇÃO NOS RAMOS DOS NÓS

Da mesma forma que em pleno traçado, os condutores ao mudarem de direcção nos ramos dos nós de ligação seguem uma trajectória natural. Estes vão curvando gradualmente, sendo então necessário implantar curvas de transição para que estes não invadam as bermas ou vias vizinhas. As condições que estas devem satisfazer são as mesmas que em pleno traçado, no entanto para raios iguais ou inferiores a 120,00 metros são menos restritivas, pois os condutores aceitam valores superiores de aceleração centrípeta e sobreelevação.

A extensão mínima das curvas de transição é fixada em função da variação da aceleração centrífuga no tempo (S_{an}) apresentando estes valores superiores nestes locais, estando compreendidos entre $0,75 \text{ m/s}^3$ e $1,2 \text{ m/s}^3$. A extensão é encontrada em função da velocidade específica da curva integrada no ramo. Esta tem em conta a drenagem para cada raio, raio este que é arbitrado de acordo com o espaço disponível, importância da estrada e topografia do terreno. Depois de fixado esse raio já se pode obter a velocidade específica e respectiva extensão. O quadro seguinte apresenta valores desses parâmetros para determinados raios assim como as extensões desejáveis para as curvas circulares definidas nas Normas dos Nós de Ligação:

Quadro 2 – Parâmetros geométricos para nós de ligação.

Raio mínimo (m)	Velocidade específica (KM/h)	Extensão mínima da transição (m)	Parâmetro da clotóide	Extensão mínima da curva circular (m)	Extensão desejável da curva circular (m)
15	25	15	15	9	15
25	30	21	22,5	11	17
35	35	24	28	13	19
45	40	28	36	15	21
60	45	32	45	18	27
75	50	36	52	24	36
90	55	40	60	30	42
120	60	45	75	36	54
150	-	-	-	42	60

3.2.2. DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE

Para se definirem os raios dos ramos de ligação é necessário assegurar uma determinada distância de visibilidade que garanta segurança nas manobras de entrada e saída da estrada principal e secundária. A distância de visibilidade pode-se dividir em dois tipos:

- Distância de visibilidade de decisão – mínima distância de visibilidade que o condutor necessita para tomar decisões atempadas;
- Distância de visibilidade de paragem – distância mínima de visibilidade necessária para que um dado condutor, a uma dada velocidade, possa parar depois de observar um obstáculo na faixa de rodagem.

Uma vez que se pretende que as manobras sejam efectuadas atempadamente para manter a segurança o valor da distância de visibilidade de decisão apresenta-se superior ao de paragem.

Os ramos de ligação de saída da estrada principal devem-se localizar, sempre que possível, antes da obra de arte, garantindo uma percepção melhor aos condutores. No quadro seguinte serão apresentados valores para essas distâncias de visibilidade, considerando o observador com 1,05m de altura e um obstáculo no pavimento com 0,15 metros:

Quadro 3 – Distância de visibilidade de decisão.

Velocidade Base (Km/h)	Distância de visibilidade (m)
100	330
110	370
120	400

No caso das saídas secundária das vias colectoras-distribuidoras, deve ser assegurada a distância mínima de visibilidade de paragem de 180,0 metros.

Nas entradas da estrada principal, deve-se ter em conta a visibilidade sobre a faixa de rodagem de que deve dispor o condutor que converge, de modo a permitir o seu reconhecimento atempado. Uma boa sinalização sobre limites de velocidade e perda de prioridade possibilitam uma adequada integração na via principal. A visibilidade desejável é indicada na figura seguinte:

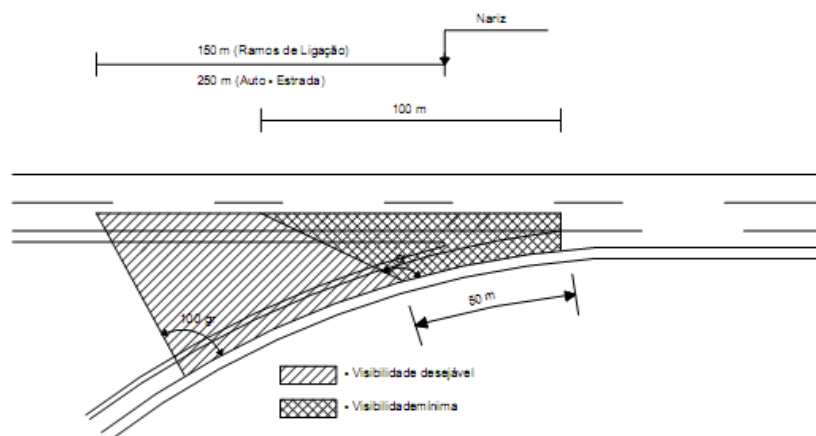


Fig.8 – Visibilidade nas entradas da via principal.

Nas entradas das secundárias, a visibilidade horizontal pode estar comprometida devido às guardas de segurança, pilares ou pela própria estrutura. Deve-se evitar esses entraves à visibilidade e no caso de não ser possível pode-se recorrer à sinalização luminosa. A distância de visibilidade é medida no eixo da via exterior, e admitindo que o condutor dista 3,0 metros da marca de paragem. No quadro seguinte apresenta-se valores referentes às distâncias de visibilidade:

Quadro 4 – Distância de visibilidade na entrada da estrada secundária.

Velocidade Base (Km/h)	Distância de visibilidade (m)
50	100
60	130
80	165
100	200

Devido às características do terreno ou do traçado em perfil e planta, a visibilidade desejável nem sempre é possível, logo deve-se assegurar uma visibilidade mínima. O caso das concordâncias convexas deve ser objecto de especial atenção. Se a entrada se situar numa curva à direita com raio reduzido, ou a zona de visibilidade não esteja totalmente livre de obstáculos, a velocidade deve ser reduzida de acordo com a distância de visibilidade.

3.2.3. VELOCIDADE ESPECÍFICA

As velocidades base a adoptar devem ser compatíveis com as distâncias de visibilidade. É indispensável assegurar um traçado em planta e perfil adequado às condições de tráfego do local do ramo.

As velocidades nas entradas dependem do traçado do ramo de ligação. Estas podem variar entre 30 Km/h em ligações interiores até 80 Km/h em ligações directas onde se possa adoptar um bom traçado. Nas saídas a velocidade deve ser igual ou superior a 80 Km/h, mas está sempre dependente dos condicionamentos locais do traçado. Dentro dos ramos a velocidade ideal deveria corresponder a 85% da velocidade base (VP) da estrada principal do nó de ligação, no entanto, normalmente não é possível devido às condicionantes topográficas, económicas, ambientais e urbanísticas, adoptando-se velocidades correspondentes a 70% de VP podendo descer até aos 50% se devidamente sinalizadas. A velocidade nos ramos pode variar entre 40 e 80 Km/h.

As ligações directas e semi-directas são as que podem apresentar velocidades mais elevadas sendo nas ligações interiores um pouco mais baixas.

3.2.4. VIAS DE ACELERAÇÃO E ABRANDAMENTO

As entradas e saídas da estrada principal devem ser efectuadas através de vias auxiliares. Estas têm a função de proporcionar espaço aos veículos para que possam efectuar manobras de variação de velocidade sem que interfiram com o tráfego da via principal. A sua localização deverá permitir uma boa visibilidade e eficazes condições de operacionalidade do tráfego. Se possível devem situar-se em alinhamento recto. Caso sejam situadas em curva os seus biséis devem ser também curvos e de raio iguais ao da estrada principal. As vias auxiliares podem ser de dois tipos: vias de aceleração e vias de abrandamento.

As vias de aceleração têm como objectivo a manobra de aceleração do veículo que pretende entrar na estrada principal. Estas podem ser de dois tipos: paralelas ou diagonais. As Normas de Intersecções referem que estas devem ser do tipo paralelo pois proporciona maior segurança. Por sua vez, as vias de abrandamento têm como objectivo a manobra de desaceleração dos veículos que pretendem abandonar a estrada principal. Estas também podem ser dos dois tipos mas as normas referem que devem ser do tipo diagonal.

As vias auxiliares são constituídas por um “taper” e no caso das paralelas por uma via paralela de largura constante, normalmente de 3,5 m. Devem ser delimitadas por lancil do tipo galgável e por bermas interiores de 2.5m e exteriores de 1m.

As Normas Portuguesas determinam valores mínimos para a extensão das vias auxiliares do tipo paralelo em função da velocidade base, no entanto, não considera para a escolha da extensão o raio da curva seguinte/precedente. Normalmente utilizam-se as Normas Espanholas que têm em consideração esses raios tornando-se assim mais adequadas para o cálculo da extensão das vias de aceleração. As vias de abrandamento são calculadas em função das de aceleração mas aplicando factores de correcção devido à inclinação da rasante. Em seguida apresenta-se o quadro referente às Normas Espanholas:

Quadro 5 – Extensão das vias de aceleração e abrandamento.

(Trainéis com $i < \pm 2\%$)

Vias de Abrandamento								
Velocidade Especifica do Ramal	STOP	25	30	40	50	60	80	
Raio Minimo da Curva		15	25	45	75	120	250	
Velocidade de Entrada	"Taper" (m)	Extensão da via de abrandamento incluindo "Taper"						
50	45	70	50	45	45	-	-	-
60	55	90	70	70	55	55	-	-
70	60	105	90	90	75	60	60	-
80	65	120	105	105	90	75	65	-
100	75	140	125	125	110	95	80	75
120	90	160	145	145	130	130	110	90

Vias de Aceleração								
Estradas com grande intensidade de tráfego								
Extensão da Via de aceleração incluindo "Taper"								
50	45	90	70	55	45	-	-	-
60	55	140	120	105	90	55	-	-
70	60	185	185	150	135	100	60	-
80	65	235	215	200	185	150	105	-
100	75	340	320	305	290	255	210	105
120	90	435	425	410	390	360	300	210
Outras Estradas								
50	45	55	45	45	45	-	-	-
60	55	90	75	65	55	55	-	-
70	60	125	110	90	75	60	60	-
80	65	165	150	130	110	85	65	-
100	75	255	235	220	200	170	120	75
120	90	340	320	300	275	250	195	100

Relação da Extensão entre vias em rampa e horizontal			
Vias de Aceleração			
Velocidade de Entrada	Factor multiplicativo		
	Rampa	Declive	
Todas	0,9	3 a 4%	1,2
Todas	0,8	5 a 6%	1,35

Vias de Aceleração						
Velocidade de Entrada	Velocidade específica no ramal de ligação					
	30	40	50	60	80	Todas
50	1,3	1,3	-	-	3 e 4% + 0,70	
60	1,3	1,3	1,3	-	-	0,7
70	1,3	1,3	1,3	1,3	-	0,65
80	1,4	1,4	1,4	1,4	-	0,65
100	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	0,6
120	1,5	1,6	1,7	1,8	1,4	0,6
50	1,5	1,5	-	-	5 e 6% + 0,60	
60	1,5	1,5	1,5	-	-	0,6
70	1,5	1,5	1,6	1,6	-	0,55
80	1,6	1,6	1,7	1,8	-	0,55
100	1,8	1,9	2	2,2	2,6	0,5
120	2,1	2,2	2,3	2,6	3,1	0,5

No que se refere ao perfil longitudinal estas devem ser localizadas em locais em que a estrada principal seja em concordância convexa, sendo a saída após o vértice. As entradas devem ser preferencialmente em declive a fim de facilitar a aceleração dos veículos pesados e as saídas em rampas para uma melhor desaceleração.

3.2.5. CONSTRUÇÃO DO “TAPER”

As vias de aceleração e abrandamento são constituídas por um “Taper” que serve para o aumento ou redução do número de vias. Este é formado por uma curva e contra-curva, isto é, trata-se de duas curvas circulares de sentido contrário com tangente comum. De seguida explica-se a construção do “Taper” em recta podendo este também ser em curva:

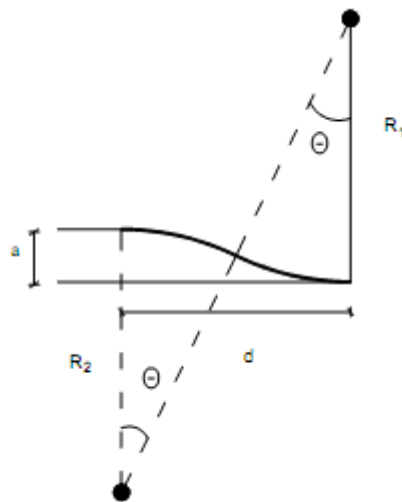


Fig.9 – Construção do “Taper” em recta

$$\begin{cases} (R_1 + R_2) - a = (R_1 + R_2) \cdot \cos\theta \\ d = (R_1 + R_2) \cdot \sin\theta \end{cases}$$

$$R_1 + R_2 = \frac{d}{\sin\theta} \quad (22)$$

Dividindo os membros:

$$\frac{a}{d} = \frac{1 - \cos\theta}{\sin\theta}$$

Através da relação:

$$\cos\theta = \cos^2 \frac{\theta}{2} - \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

$$\sin\theta = 2 \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2}$$

Substituindo na equação anterior:

$$\frac{1 - (\cos^2 \frac{\theta}{2} - \sin^2 \frac{\theta}{2})}{2 \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2}} = \frac{a}{d}$$

<=>

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{a}{d}$$

Logo:

$$\theta = 2 \cdot \arctg \frac{a}{d} \quad (23)$$

Através das equações (22) e (23), fixando um dos R obtêm-se o outro ou simplesmente considera-se $R_1=R_2$.

3.2.6. CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA E DEFINIÇÃO ANALÍTICA

3.2.6.1. Loop de ligação entre duas rectas

A definição geométrica dos ramos dos nós faz-se pelo bordo direito de circulação, no caso dos ramos unidireccionais, e pelo eixo nos ramos bidireccionais.

O loop de ligação entre duas rectas é o caso mais simples de ramos de ligação, pois para encontrar o centro do loop basta encontrar a intersecção de duas rectas à distância $R + \Delta r$ do bordo das duas vias. Em seguida serão simplifcadamente descritos os passos para a sua construção:

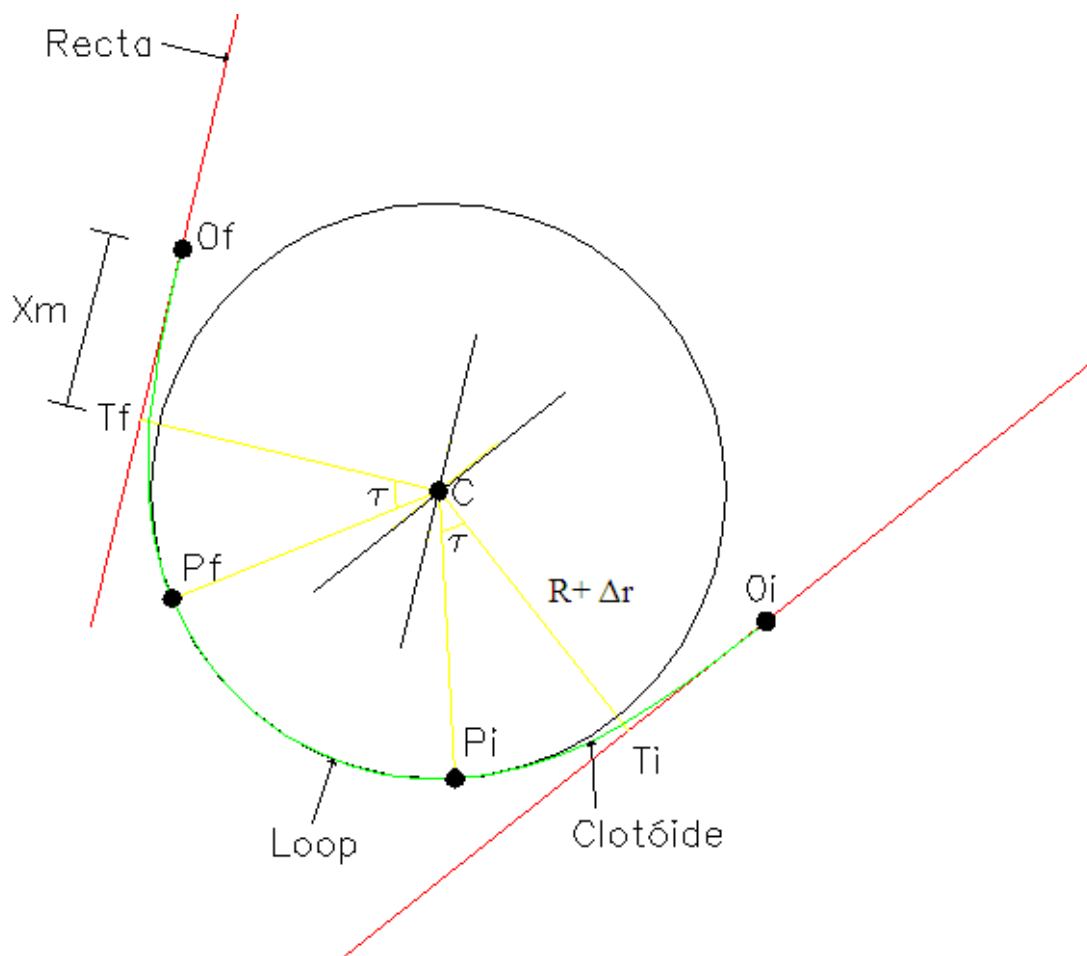


Fig.10 – Loop entre duas rectas

A cor vermelha apresentam-se os bordos conhecidos e a verde os que se pretende determinar.

O raio do loop será escolhido de acordo com o espaço disponível e com a velocidade base projectada para o ramo do nó assim como os parâmetros A.

1. Marcam-se duas paralelas aos bordos das vias à distância $R + \Delta r$;

$$\Delta r = Y - R(1 - \cos\tau)$$

2. A intersecção dessas duas paralelas dá o centro do loop (C);
3. Traçam-se duas perpendiculares aos bordos a passar no centro do loop e encontram-se os pontos de tangencia (Ti e Tf);
4. Calcula-se τ e X_m e marcam-se os pontos de osculação entre a recta e clotóide (Oi e Of) e entre a clotóide e a curva circular;

$$X_m = X - R \cdot \text{sen}\tau \quad \tau = \frac{L}{2 \times R}$$

Calculados estes pontos temos os bordos da intersecção perfeitamente definidos.

3.2.6.2. Loop em curva circular

3.2.6.2.1. Com o mesmo sinal

Neste caso vai-se estabelecer a ligação entre uma primeira estrada em curva circular e uma segunda estrada criando-se um loop com o centro para o mesmo lado que a curva circular, ficando assim com o mesmo sinal. Este tipo de curvas designa-se por curva Ovóide.

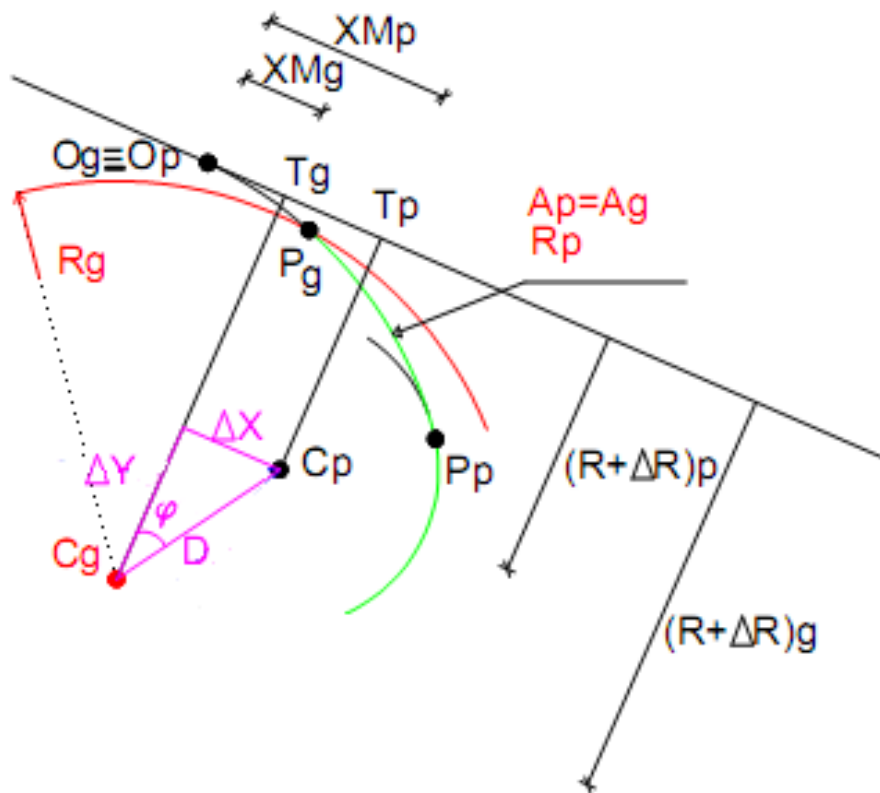


Fig.11 – Curva Ovóide

O raio e centro da curva circular já são conhecidos à posteriori sendo escolhido apenas o raio para o loop e os parâmetros A.

1. Cria-se uma recta auxiliar fora da curva circular numa orientação aproximada de onde começará o nó de ligação;
2. Traça-se uma perpendicular a essa recta a passar no centro (C_g);
3. Calcula-se o τ e X_m da curva grande e da pequena (X_{Mg} e X_{Mp});
4. Determina-se a distância entre o ponto de tangencia das duas circunferências através da fórmula:

$$\Delta x = X_{Mp} - X_{Mg} \quad (24)$$

5. Calcula-se a distância entre o C_g e C_p sobre a perpendicular que une o C_g à recta auxiliar através da fórmula:

$$\Delta y = (R + \Delta r)_g - (R + \Delta r)_p \quad (25)$$

6. Com os valores de Δx e Δy pode-se concluir o triângulo de construção e encontrar a distância entre os centros:

$$D = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \quad (26)$$

$$\varphi = \text{artg} \frac{\Delta x}{\Delta y} \quad (27)$$

7. Marca-se agora a circunferência referente ao C_p com o raio escolhido pelo projectista;
 8. Com os valores do t_p e t_g encontra-se os pontos de tangencia P_p e P_g e temos a curva ovóide perfeitamente definida.

3.2.6.2.2. Com sinal contrário

Num loop em curva circular com sinal contrário o centro da primeira estrada vai estar do lado oposto do centro do loop. Isto criará um percurso em forma de “S” sendo então designadas como “curva em S”.

A construção da curva em “S” é praticamente semelhante à construção de uma curva ovóide. Apenas difere no sentido em que na ovóide os dois centros encontram-se do mesmo lado da recta auxiliar enquanto na curva em “S” fica um centro para cada lado.

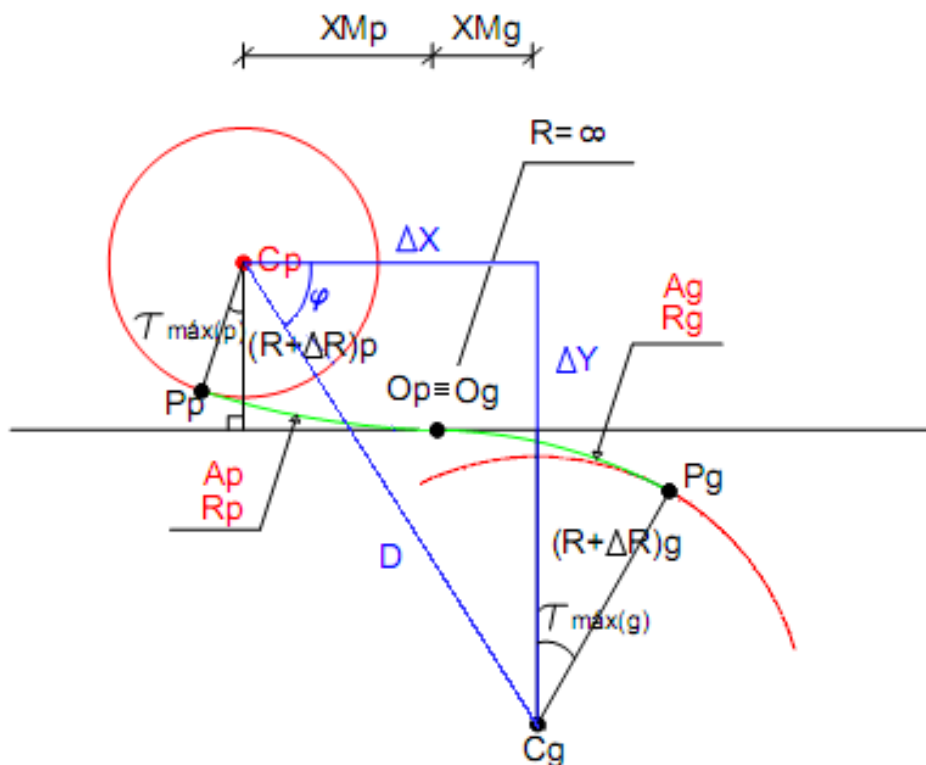


Fig.12 – Curva em “S”

O raio e centro da curva circular já são conhecidos sendo escolhido apenas o raio para o loop e os valores para os parâmetros A.

1. Cria-se uma recta auxiliar fora da curva circular numa orientação aproximada de onde começará o nó de ligação;
2. Traça-se uma perpendicular a essa recta a passar no centro (Cg);
3. Calcula-se o τ e X_m da curva grande e da pequena (X_{Mg} e X_{Mp});
4. Determina-se o triângulo de construção da curva em “S” através das fórmulas:

$$\Delta x = X_{Mp} + X_{Mg} \quad (28)$$

$$\Delta y = (R + \Delta r)_g + (R + \Delta r)_p \quad (29)$$

$$D = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

$$\varphi = \operatorname{artg} \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

5. Marca-se agora a circunferência referente ao C_p com o raio escolhido pelo projectista;
6. Com os valores do τ_p e τ_g encontra-se os pontos de tangencia P_p e P_g e temos a curva em “S” perfeitamente definida.

4

CARACTERÍSTICAS DO PERFIL LONGITUDINAL

4.1. GENERALIDADES

O traçado em perfil longitudinal é definido pela rasante, a qual representa a intersecção de uma superfície vertical que contém o eixo da estrada com a superfície do pavimento. Posto isto para efectuar o estudo da rasante é necessário um conhecimento prévio do traçado em planta e do perfil longitudinal do terreno.

O factor que mais influência a escolha da rasante é o relevo do terreno, logo a rasante da estrada deve estar o mais próxima possível do terreno natural para evitar grandes movimentos de terras. Caso isso não seja possível os custos de construção vão aumentar significativamente devido à execução de grandes aterros e escavações ou mesmo de viadutos e túneis. Além da topografia do terreno existem ainda outros factores, de forma mais ou menos acentuada, a ter em conta na definição da rasante, como:

- A integração com o meio ambiente;
- A drenagem de águas pluviais;
- A existência de passagem desniveladas com “gabarit” mínimo a respeitar;
- As distâncias de visibilidade necessárias;
- O nível de serviço a garantir.

A rasante é constituída por traneis e concordâncias verticais. Os traneis têm inclinações (i) constantes e são definidas pela equação de uma recta no espaço bidimensional. São positivas se estiverem em rampa e negativa em declive. As concordâncias podem ser circulares ou parabólicas. As parabólicas apresentam vantagem relacionadas com a visibilidade e comodidade mas são mais complexas. Uma vez que os raios utilizados são elevados as vantagens em relação às circulares são mínimas logo opta-se pelas circulares devido à sua simplicidade de cálculo.

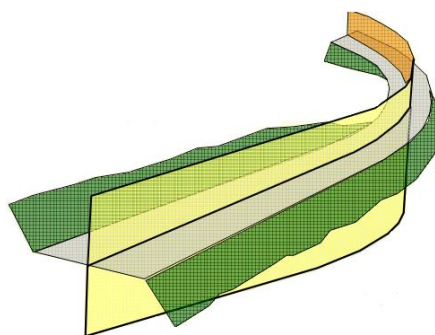


Fig.13 – Rasante a 3 dimensões.

4.2. EM PLENA VIA

4.2.2. TRINEIS

A inclinação máxima de um tranel está dependente das características que um veículo pode aceitar, logo será dimensionada com base na velocidade da estrada. A importância da estrada e os factores económicos influenciam a escolha da inclinação, pois traneis com inclinações baixas acarretam custos maiores, principalmente se for em terrenos acidentados. Para estradas com elevado volume de tráfego e velocidades altas as inclinações máximas permitidas vão ser baixas enquanto para estradas de menor importância são aceites limites mais elevados. A norma da JAE estabelece os seguintes limites de inclinação máxima a utilizar nos projectos de estradas:

Quadro 6 – Inclinação máxima dos traneis.

Velocidade base (Km/h)	Inclinação máxima desejável (%)
40	8
60	7
80	6
100	5
120	4 (a)
140	3

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

Em terrenos muito acidentados, a norma deixa aumentar 1% da inclinação máxima em traneis com extensão não superior a 600m e 2% a extensões inferiores a 300m.

Em zonas de intersecções, para garantir uma suave concordância entre as estradas e evitar grandes inclinações transversais a inclinação máxima longitudinal é limitada a 4%.

Por razões de drenagem a norma estabelece um valor mínimo para a inclinação. Em zonas em recta a inclinação mínima para permitir a drenagem longitudinal é de 0,5%, caso seja em curva o valor mínimo é de:

$$i \geq 0,5\% + \Delta i_e \quad (32)$$

i – inclinação do tranel (%);

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

Além de limitar as inclinações máximas para os traneis também se torna necessário limitar as extensões devido à presença de veículos pesados. Grandes extensões em rampa provocam uma excessiva redução de velocidade. Se o valor da extensão crítica for ultrapassado e o volume de pesados for significativo recorre-se á construção de uma via adicional para os veículos lentos. A norma aconselha a utilização das seguintes extensões críticas:

Quadro 7 – Extensões críticas dos traneis.

Inclinação do tranel (%)	Extensão crítica (m)
3	420
4	300
5	230
6	180
7	150
8	120

4.2.3. CONCORDÂNCIAS VERTICAIS

As concordâncias verticais são caracterizadas pelo seu raio mínimo (R) e desenvolvimento (D). Raios elevados proporcionam segurança de circulação, garantindo adequadas distâncias de visibilidade mínima e circulação cómoda, do ponto de vista dinâmico. Desenvolvimentos mínimos grandes oferecem comodidade óptica e estética.

Uma vez que os raios utilizados são de gamas altas opta-se pelas concordâncias circulares.

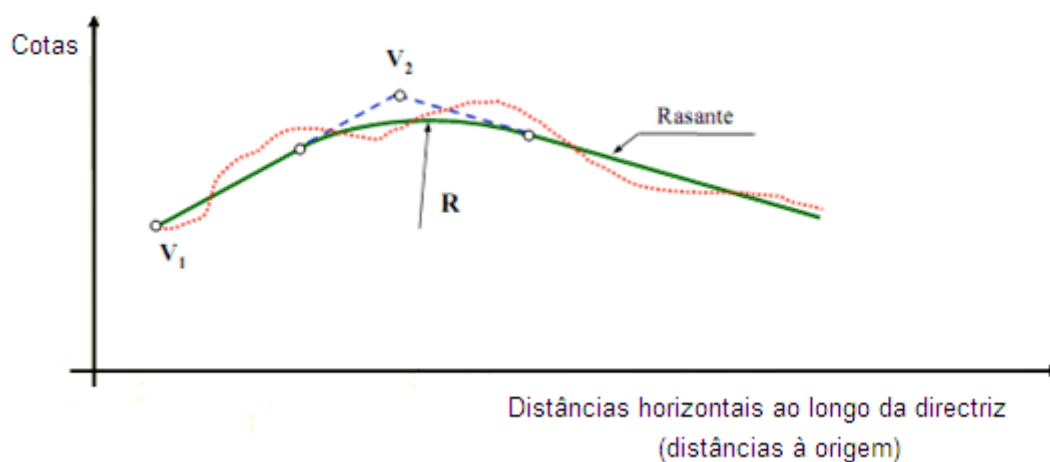


Fig.14 – Perfil longitudinal com concordância e traneis.

- Concordâncias convexas

A curvatura mínima é determinada por razões de distância de visibilidade para proporcionar segurança durante a circulação. O critério relativo à comodidade de circulação não é limitativo, dado que os raios que derivam da consideração de acelerações verticais de $0,25\text{m/s}^2$ ficam longe dos impostos pelo critério da visibilidade. Para uma dada velocidade, o raio mínimo deve então garantir: uma distância de visibilidade (D_v) necessária para a paragem (D_P) no caso de estradas unidireccionais ou de duas vias em que a ultrapassagem é proibida; ou uma distância de visibilidade de ultrapassagem (D_U) em estradas de duas vias com ultrapassagens permitidas.

A norma deduz a seguinte expressão para o raio mínimo no caso das concordâncias convexas

$$R = \frac{D_v^2}{4} \quad (33)$$

e apresenta o seguinte quadro para os raios depois de arredondados:

Quadro 8 – Raios mínimos das concordâncias convexas.

Velocidade (Km/h) (b)	Raio mínimo	
	Absoluto (a) (m)	Normal (m)
40	1500	1500
50	1500	2100
60	2000	3000
70	3000	4200
80	5000	6000
90	7500	8500
100	9000	12500
110	12000	13000
120	14000	16000
130	20000	20000

(a) Só são aceites em estradas com faixas de rodagem unidireccionais.

(b) A velocidade será no caso de IP's e IC's a velocidade de tráfego, no caso de "Outras estradas" a velocidade base.

Com a finalidade de assegurar conforto óptico dos condutores, a norma refere valores para os desenvolvimentos mínimos das concordâncias convexas:

Quadro 9 – Desenvolvimentos mínimos em concordâncias convexas.

Velocidade (Km/h) (b)	Desenvolvimento mínimo	
	Absoluto (a) (m)	Normal (m)
40	40	60
50	50	60
60	60	120
70	70	120
80	80	120
90	90	120
100	100	120
110	110	120
120	120	120
140	140	140

(a) Só são aceites em estradas com faixas de rodagem unidireccionais.

(b) A velocidade será no caso de IP's e IC's a velocidade de tráfego, no caso de "Outras estradas" a velocidade base.

Estes valores tiveram como base que qualquer concordância para ser adequadamente perceptível ao condutor tem de ter um percurso que seja percorrido num tempo mínimo de 3,6 segundos, $D(m) \geq V(KM/h)$.

- Concordâncias côncavas

Em curvas côncavas a curvatura mínima é determinada por razões de visibilidade nocturna e comodidade. Se a velocidade for inferior a 80 Km/h, a visibilidade estará limitada pela distância iluminada pelos faróis, se esta for superior, será o critério relativo à comodidade a condicionar, para que a aceleração vertical não ultrapasse os $0,25m/s^2$.

A norma deduz então as seguintes expressões

$$R = \frac{DP^2}{1,2+0,035.DP}, \text{ para } V \leq 80 \text{ Km/h} \quad (34)$$

$$R = \frac{V^2}{3,24}, \text{ para } V > 80 \text{ Km/h} \quad (35)$$

e apresenta o seguinte quadro para os raios depois de arredondados:

Quadro 10 – Raios mínimos em concordâncias côncavas.

Velocidade (Km/h)	Raio mínimo (m)
40	800
50	1200
60	1600
70	2500
80	3500
90	4500
100	5500
110	6000
120	7000
140	8000

Apesar de a norma considerar o critério relativo à comodidade condicionante para $V > 80 \text{ Km/h}$ os valores obtidos pela expressão são significativamente inferiores aos relativos à distância de visibilidade, logo os valores tabelados são todos calculados pela expressão 34.

Com base nos mesmos critérios de comodidade óptica a norma também define os valores referentes aos desenvolvimentos mínimos das concordâncias côncavas:

Quadro 11 – Desenvolvimentos mínimos em concordâncias côncavas.

Velocidade base (Km/h)	Desenvolvimento mínimo (m)
40	6
50	60
60	120
70	120
80	120
90	120
100	120
110	120
120	120
140	140

4.3. PARTICULARIDADES DOS RAMOS DOS NÓS DE LIGAÇÃO

4.3.1. TRINEIS

Os princípios de aplicação nos ramos dos nós de ligação são os mesmos que em plena via, no entanto os valores máximos aceitáveis são superiores. Nos ramos a inclinação das rampas é geralmente controlada pela necessidade de se obter uma distância de visibilidade de paragem imposta pela velocidade base. Normalmente o valor máximo para as rampas não deve exceder os 8% e para os declives, em casos especiais, pode-se aumentar até 2%. No quadro seguinte apresentam-se os valores máximos desejáveis das inclinações para os ramos de ligação em função da velocidade base:

Quadro 12 – Inclinação máxima dos traineis dos ramos dos nós.

Velocidade (Km/h)	Rampas (%)	Declives (%)
≥ 70	5	7
> 55	6	8
> 40	7	9
≤ 40	8	10

Nos pontos de ligação entre o ramo e a estrada secundária é necessário ter alguns cuidados na escolha da inclinação, pois deve-se ter em conta o perfil transversal dessa. As rampas de saída se terminarem em trainel não devem exceder os 3%, para assegurar o rápido arranque dos veículos pesados. Se terminar em concordância convexa, os últimos 15 metros da rampa não devem ter inclinações superiores a 5%. No caso de terminar em declive com a estrada secundária, a inclinação do trainel da secundária deve ser inferior a 4% para permitir uma concordância mais suave e evitar elevadas inclinações transversais no ramo de ligação.

Os valores mínimos de inclinação longitudinal são iguais à plena via, 0,5% em recta e $0.5\% + \Delta i_e$ em curva.

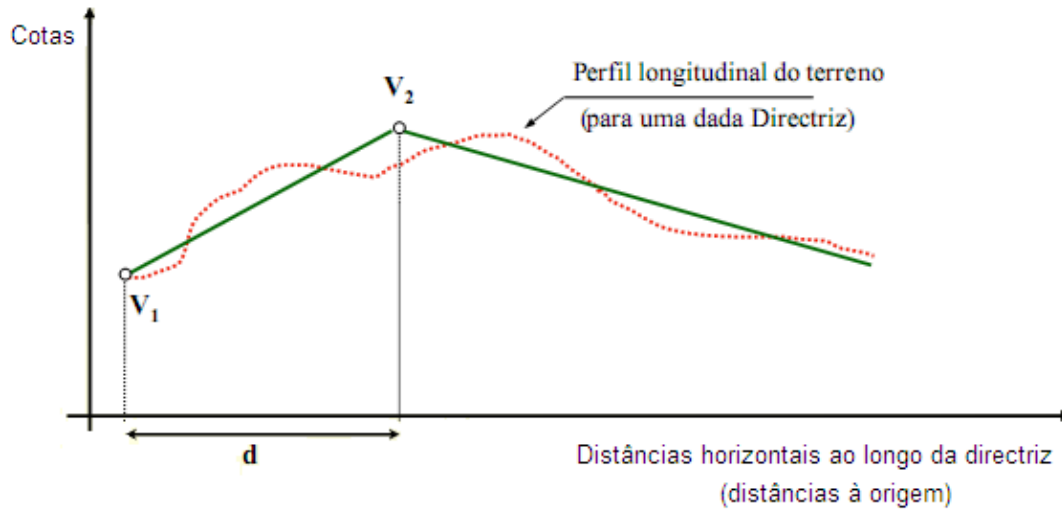


Fig.15 – Perfil longitudinal só com traineis.

4.3.2. CONCORDÂNCIAS VERTICAIS

Nos ramos dos nós de ligação os princípios que regulam as concordâncias verticais são os mesmos mas estes não fazem diferenciação entre concordâncias concavas ou convexas. Com base na expressão seguinte e na tabela auxiliar obtém-se o valor para os raios das concordâncias dependentes de cada velocidade:

$$R \geq \frac{DVP^2}{4} \quad (36)$$

Quadro 13 – Quadro auxiliar para cálculo do raio mínimo das concordâncias nos ramos dos nós de ligação.

Velocidade (Km/h)	DVP (m)
30	30
40	40
50	60
60	80
70	100
80	120
100	180
120	250

4.4. COTAS DO PROJECTO

4.4.1. EM TRAINEL

Em trainel a inclinação é constante, sendo em rampa positiva com o sentido crescente de x e em declive negativa. A cota de um ponto genérico é dada pela seguinte equação linear:

$$y = y_a + i \cdot x \quad (37)$$

y – Cota pretendida (m);

y_a – Cota do ponto conhecido (m);

i – Inclinação do trainel (m/m);

x – Distância ao longo do eixo em planta entre o ponto de cota conhecida e o ponto de cota pretendida (m).

4.4.2. EM CONCORDÂNCIA

Uma vez que se vão utilizar parábolas do 2º grau a variação da inclinação é linear. Considerando que a origem dos eixos dos xx e yy é no ponto de tangencia trainel/concordância obtém-se a seguinte curva:

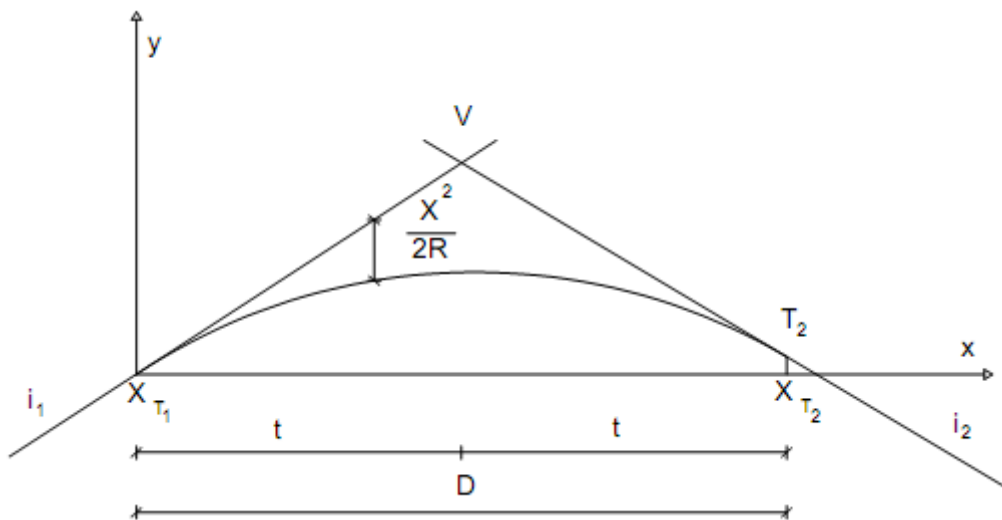


Fig.16 – Concordância vertical convexa.

A convenção rodoviária de sinais considera o raio das concordâncias côncavas negativo e das convexas positivo, sendo contrário à convenção matemática. Posto isto, a expressão geral das concordâncias relativamente a um referencial ortogonal com origem no ponto de tangencia trainel/concordância é dada pela expressão:

$$y = i_1 \cdot x - \frac{x^2}{2.R} \quad (38)$$

i_1 – Inclinação do trainel de entrada (positivo a subir e negativo a descer) (m/m);

R – Raio mínimo da concordância (positivo no caso das concordâncias convexas e negativo nas côncavas) (m).

O ponto mínimo ou máximo da concordância (dependendo se for concava ou convexa) obtém-se pelo anulamento da inclinação da tangente à curva, obtendo assim a seguinte expressão:

$$x = i \cdot R \quad (39)$$

4.5. TRAÇADO GERAL

4.5.1. HOMOGENEIDADE NO TRAÇADO

A qualidade global de um traçado é determinada pela qualidade dos alinhamentos adoptados (horizontal e vertical), bem como pela sua integração no meio ambiente envolvente. Em termos de homogeneidade a manutenção ou transição das características da estrada deve ser feita suavemente de forma a assegurar condições de segurança ao utente da via.

Na fase de projecto deve-se ter em atenção algumas questões que podem por em causa a segurança dos condutores. Essas questões podem aparecer em planta e em perfil longitudinal.

Em planta deve-se ter em atenção os seguintes casos:

- As curvas circulares a seguir a alinhamentos rectos extensos devem ter raios compatíveis com a velocidade que o condutor terá no final daqueles;
- Curvas circulares entre dois alinhamentos rectos extensos devem ter raio superior ao raio sem sobrelevação, para a velocidade base considerada;
- Os raios de duas curvas circulares consecutivas não devem diferir muito;
- Os alinhamentos rectos entre curvas circulares consecutivas com o mesmo sentido devem ter um comprimento que corresponda a um tempo de percurso mínimo de 5 segundos. Se isso não for possível, é preferível substituir as duas curvas e o alinhamento recto por uma curva única.

E em perfil longitudinal:

- O raio de uma curva vertical entre traneis extensos deve ser muito superior aos mínimos indicados nas normas;
- Entre duas curvas verticais próximas deve-se evitar colocar um trainel de reduzida extensão;

A informação fornecida pela infra-estrutura deve ser clara, concisa e credível. Devem ser evitadas ambiguidades que provoquem hesitações comportamentais.

4.5.2. COORDENAÇÃO PLANTA-PERFIL

A coordenação entre a planta e o perfil longitudinal é essencial para que se consiga um bom traçado, pois não basta que os traçados em planta e perfil longitudinal respeitem as características mínimas e que sejam homogéneos separadamente, é necessário que estejam coordenados entre si. O objectivo desta coordenação é que o condutor compreenda facilmente o desenvolvimento do traçado à sua frente, distinga a tempo as zonas singulares e se aperceba atempadamente de eventuais obstáculos que lhe possam aparecer. Só assim podemos ter um traçado que ofereça segurança aos seus utentes.

Para que a coordenação entre eles seja boa deve-se ter em atenção as seguintes questões:

- Os pontos singulares não devem estar localizados em concordâncias convexas, em curvas em planta com pequeno raio ou em zonas em que haja descontinuidades de visibilidade de tráfego;
- Zonas em que exista descontinuidade do traçado devem ser evitadas;

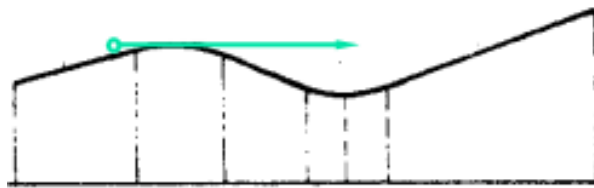


Fig.17 – Zona de descontinuidade de traçado.

- Devem-se evitar troços da via não visíveis pois causam dificuldades e hesitações associadas às manobras de ultrapassagem;

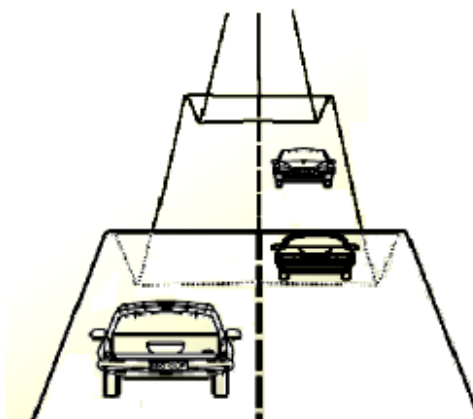


Fig.18 – Zona de troços não visíveis.

- Deve-se sobrepor as curvas verticais às curvas em planta ou localiza-las em alinhamentos rectos em zonas afastadas das curvas em planta;
- Não se deve iniciar uma curva em planta após uma curva convexa por razões de visibilidade;

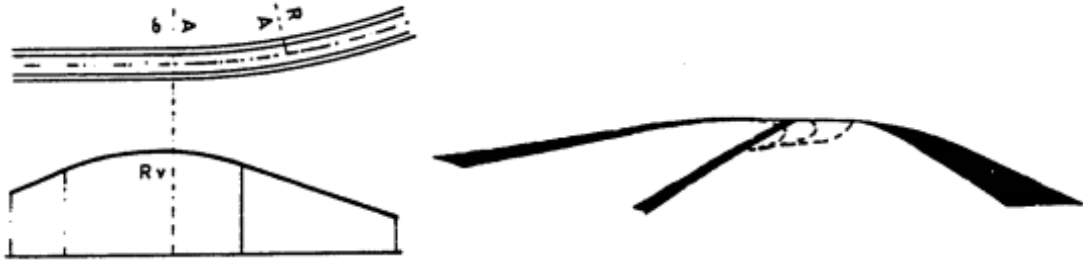


Fig.19 – Curva em planta após curva convexa.

- Deve-se garantir sempre um espaçamento entre curvas horizontais e verticais pois pode-se interpretar erradamente a existência de curva contra curva;
- Não se deve iniciar uma curva em planta após uma curva côncava por originar uma quebra de traçado;



Fig.20 – Curva em planta após curva côncava.

- Não se deve acabar uma curva em planta imediatamente antes ou numa curva côncava, por originar um estreitamento óptico e eventualmente quebra de traçado;



Fig.21 – Fim de curva em planta numa curva côncava.

- Não se deve colocar uma curva côncava entre duas curvas circulares porque isso determina o estreitamento óptico e eventual quebra de traçado, e cria condições propícias a hidroplanagem;

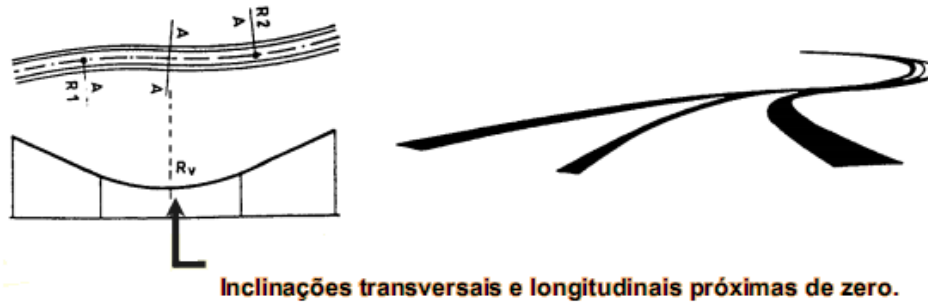


Fig.22 – Curva côncava entre curvas circulares.

- Não se deve utilizar curvas no plano vertical com desenvolvimentos muito diferentes dos das curvas horizontais, quando coincidentes, pois cria a sensação de queda;
- Deve-se situar as curvas verticais em alinhamentos rectos e em zonas afastadas das curvas em planta, ou sobrepô-las às curvas em planta.

5

CARACTERÍSTICAS DO PERFIL TRANSVERSAL

5.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PERFIL

5.1.1. GENERALIDADES

O perfil transversal resulta de um corte perpendicular ao eixo da via. Neste é possível verificar os elementos construtivos do perfil-transversal da estrada de uma faixa ou de faixas separadas.

O estabelecimento do perfil transversal tipo deve ter por base:

- Segurança – que depende da inclinação transversal das vias, da existência de separador e de equipamentos de segurança e da inclusão de infra-estruturas especiais;
- Capacidade da estrada – que depende do número e largura atribuída às vias e largura de bermas;
- Economia – que depende da largura da plataforma, tipo de pavimento e ainda da inclinação dos taludes;
- Ambiente – depende da integração do traçado no ambiente rodoviário.

Os constituintes de um perfil transversal são:

- Faixa de rodagem;
- Bermas
- Valetas (quando existem);
- Separador (no caso de faixas separadas);
- Taludes;

Além dos constituintes da estrada no perfil transversal é possível retirar outras informações como:

- Sobreelevação;
- Sobrelargura;
- Constituição do pavimento;
- Nº e largura das vias de tráfego;
- Largura e tipo de separador central;
- Largura das bermas;

- Forma e dimensão das valetas;
- Dimensão dos dispositivos de drenagem;
- Inclinação dos taludes de escavação e aterro;

As características da estrada podem variar ao longo da quilometragem, logo o seu perfil transversal também pode mudar, sendo necessário representar trecho a trecho.

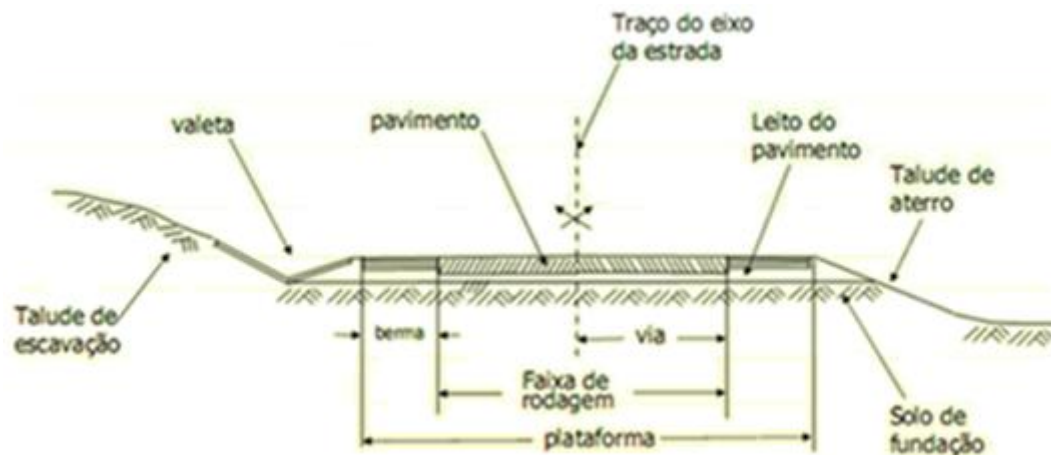


Fig.23 – Exemplo de perfil transversal com faixas separadas.

Em seguida descrevem-se os constituintes do perfil transversal:

- Faixa de rodagem

A faixa de rodagem é a zona destinada à circulação dos veículos. É nesta que se encontra o pavimento, constituído por várias camadas de materiais granulares e betuminosos ou de betão. Segundo as Normas da Traçado da JAE as estradas classificadas como IP e IC devem apresentar uma largura de 3,75 metros e as EN e ER 3,5m ou até mesmo 3,0m quando a velocidade é inferior a 80 Km/h e o volume de tráfego horário seja inferior a 300 veículos. Em estradas de 2×n vias, a largura de cada uma delas deve ser de 3,75m se a velocidade base for superior a 100 Km/h ou 3,5m se for inferior. No caso dos ramos de ligação a largura por via deve ser de 4m.



Fig.24 – Esquema da faixa de rodagem.

- Bermas

As bermas são as zonas marginais adjacentes à faixa de rodagem. Estas apresentam como principais funções:

- Servir de refúgio a veículos avariados;
- Apoiar manobras de emergência;
- Permitir a circulação de veículos de socorro;
- Suportar lateralmente o pavimento;
- Apoiar a circulação de peões e ciclistas;
- Aumentar os níveis de visibilidade e de capacidade;

A distinção entre a faixa e a berma é feita através de um traço branco contínuo ou a berma apresenta uma textura contrastante à faixa de rodagem. Ao conjunto da faixa com a berma dá-se o nome de plataforma.

As larguras adoptadas para as bermas segundo as normas são: para as AE de 1,0m para a berma esquerda e 3,0m para a direita; para as IP e IC 2,5m para ambas as bermas; EN/ER 1,5 para ambas as bermas; EM 0,5 a 2,5 também para ambas e no caso dos ramos de ligação a berma direita tem normalmente 2,5m e a esquerda 1,0m no caso de apresentar apenas uma via, se forem duas ou mais vias será de 1,0m para ambas, apenas no caso de ser uma ligação entre auto-estradas é que passa para 2,5m.

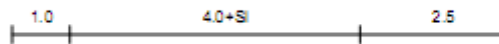


Fig.25 – Largura das bermas num ramo unidirecional de uma via.

- Valetas

As valetas têm a função de proporcionar o escoamento longitudinal das águas superficiais nas zonas de escavação. São normalmente de forma triangular com uma dimensão mínima de 1m em projecção horizontal. Estas podem ou não ser revestidas ao apenas ter o fundo revestido. Além das valetas existem ainda outros órgãos de drenagem longitudinal, classificados de acordo com a sua localização: valas de bordadura, valas do separador central, vala de crista, vala de banqueta e vala do pé de talude.

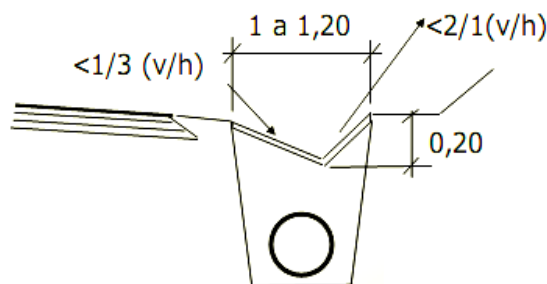


Fig.26 – Valeta triangular.

- Separador

Os separadores centrais são os espaços centrais das estradas que separam os dois sentidos do tráfego. Estes podem ser de dois tipos, podem ser separadores flexíveis ou rígidos. Os separadores flexíveis têm a vantagem de reserva de largura para possíveis alargamentos, são locais adequados para implantação de algumas estruturas como pilares das obras de arte ou mesmo poste da iluminação e reduzem os riscos de encadeamento durante a noite. Por sua vez os separadores rígidos, também conhecidos por New Jersey, possuem outras vantagens como o reduzido espaço que ocupam, a sua maior resistência e menores despesas de manutenção. No caso dos ramos dos nós o separador New Jersey não é muito adequado devido à elevada curvatura da via, optando-se por o tipo flexível.

O separador compreende ainda as bermas esquerdas da circulação, as guardas de segurança e o eventual espaço livre entre elas.

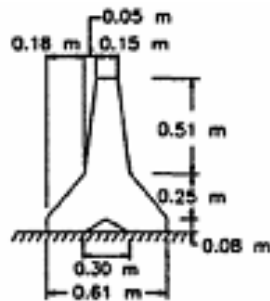


Fig.27 – Separador rígido.

- Taludes

Os taludes são o resultado das obras de terra e representam as paredes laterais do sólido da estrada. Estes podem ser em escavação se se localizarem acima da plataforma, em aterro se for abaixo ou mistos. A inclinação que se pode dar a estes está dependente de factores como a topografia do terreno, integração paisagística, preocupações ambientais, estabilidade geotécnica e económicos.

Por vezes é necessário reforçar a estabilidade dos taludes, reforço e esse conseguido através do seu revestimento, inclinações mistas, presença de baquetes de estabilidade, drenagem cuidadosa e construção de muros de suporte.

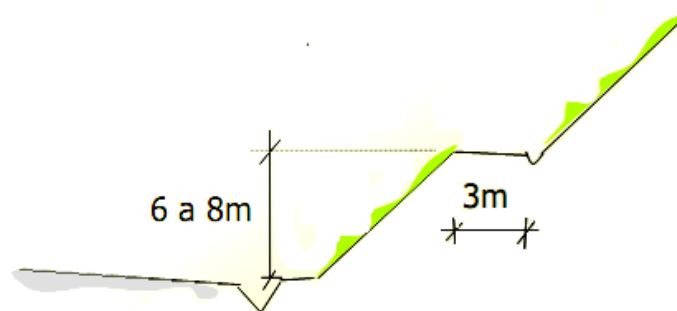


Fig.28 – Talude com presença de baquete de estabilidade.

5.1.2. ALTERAÇÃO DO PERFIL TRANSVERSAL

5.1.2.1. Sobreelevação em curva circular

Em alinhamento recto o perfil transversal é constituído por duas águas com o eixo elevado em relação aos bordos. Esta inclinação tem como função a drenagem das águas pluviais que caem sobre a faixa de rodagem, reduzindo o risco de hidroplanagem assim como as infiltrações nas camadas adjacentes. A inclinação mínima está dependente do tipo de pavimento devido à capacidade que estes apresentam para drenar:

- Pavimentos rígidos – $i=2,0\%$
- Pavimentos betuminosos – $i=2,5\%$

O perfil vai sofrer alterações em curva, devido à sobreelevação (Se) e por adição da sobrelargura. O objectivo de se incurrir essa sobreelevação é de absorver uma parte da aceleração centrífuga, contribuindo assim para a segurança e comodidade de circulação e favorece a percepção da curva. O quadro seguinte apresenta valores da Se para as velocidades específicas de cada curva, uma vez que é frequente serem percorridas com velocidades superiores à velocidade base:

Quadro 14 – Sobreelevação em curva circular.

Estrada com 2 vias		Estrada de vias múltiplas	
Raio	Sobreelevação	Raio	Sobreelevação
(m)	(%)	(m)	(%)
< 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	-

As Normas do Traçado, para raios maiores que 2500m em estradas de duas vias ou 5000m para estradas de vias múltiplas, dispensa o uso de sobreelevação.

5.1.2.2. Disfarce da sobrelevação

Como foi já referido no ponto referente ao dimensionamento das clotóides, o disfarce da sobrelevação é feito na curva de transição mas parte desde logo já sobreelevado, isto é, começa a ser sobreelevado ainda em recta, a uma distância L_d do início da clotóide. O disfarce é feito pelo bordo da faixa aumentando desde o valor i em recta para a Se fixada pelas Normas do Traçado em curva circular (Quadro 5). Apresenta-se em seguida um esquema representativo do disfarce da sobrelevação numa estrada de duas vias:

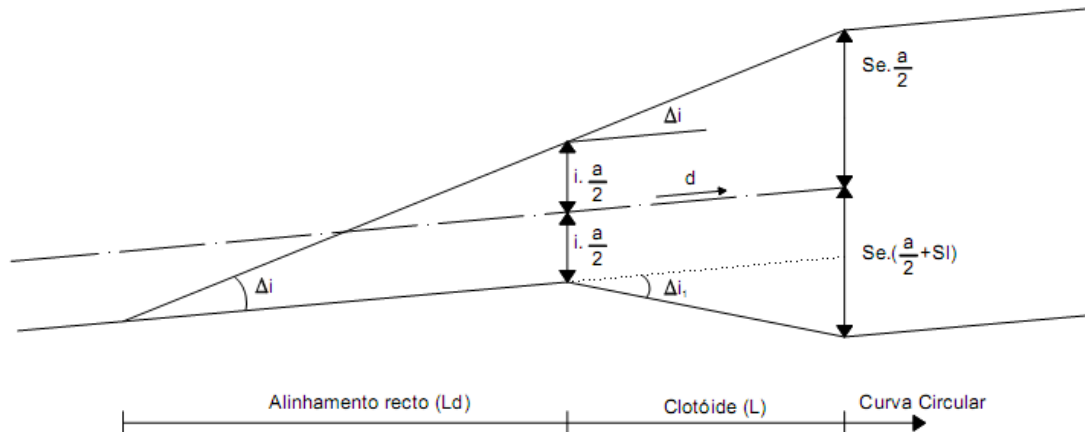


Fig.29 – Disfarce da sobrelevação linear.

Δi – Diferença de inclinação entre o bordo exterior e o eixo (%);

Δi_1 – Diferença de inclinação entre o eixo e o bordo interior (%);

i – Inclinação transversal da estrada (%);

a – Largura da faixa de rodagem (m);

d – Inclinação do eixo em perfil longitudinal (%);

Sl – Sobrelargura no início da curva circular (m).

As Normas do Traçado limitam o valor de Δi , limites esses apresentados no Quadro 1 e explicados no ponto 3.1.3.2.

A extensão de alinhamento recto abrangido pelo disfarce de sobrelevação (ld) pode ser calculado pela expressão:

$$Ld = \frac{2 \times L \times i}{Se - i} \quad (30)$$

O esquema apresentado refere-se um disfarce da sobrelevação linear. Este apresenta um ponto crítico no que se refere à drenagem de águas da via, ponto esse em que a inclinação transversal é nula. Para se resolver essa dificuldade por vezes opta-se por um disfarce de sobrelevação parabólico que soluciona melhor o problema desse ponto crítico.

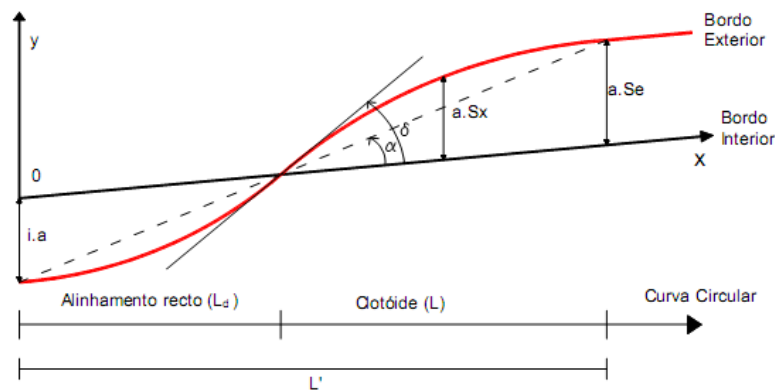


Fig.30 – Disfarce parabólico da sobreelevação.

- α – Declive da recta considerando o disfarce linear na mesma extensão;
- S_x – Sobreelevação num ponto genérico x da clotoide (%);
- S_e – Sobreelevação na curva circular (%);
- L_d – Extensão do alinhamento recto (m);
- L – Extensão da clotoide (m).

A passagem de sobreelevação de recta para curva circular necessita de um eixo de rotação, eixo esse em torno do qual se fará a variação da inclinação transversal. Nas estradas de duas vias a rotação faz-se em torno do eixo da faixa de rodagem, enquanto que para as estradas com faixas de rodagens separadas a rotação é feita em torno do bordo interior da faixa de rodagem.

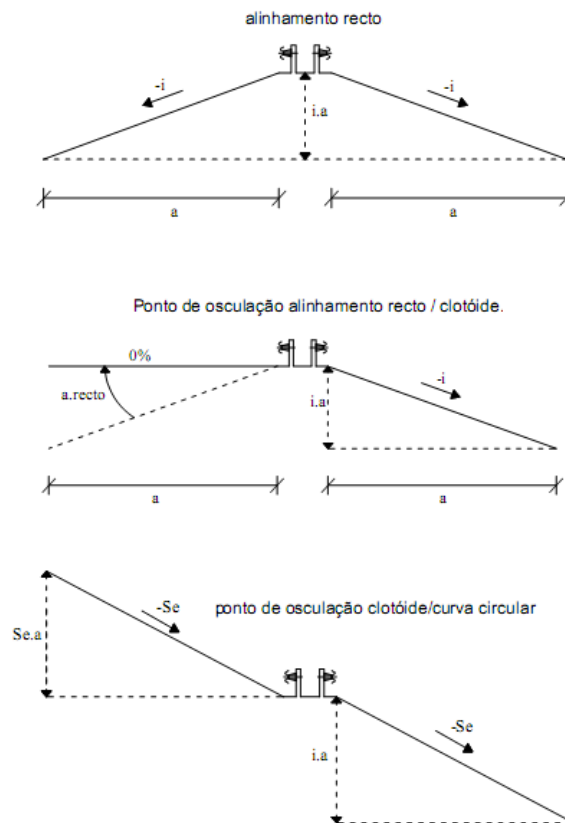


Fig.31 – Variação da Sobreelevação numa estrada de duas vias com separador central.

5.1.2.3. Sobrelargura em curva circular

Devido à rigidez da base do veículo, principalmente dos veículos pesados, ao entrar em curva ocupa uma largura maior que em recta porque as rodas traseiras não seguem exactamente o rasto das dianteiras.

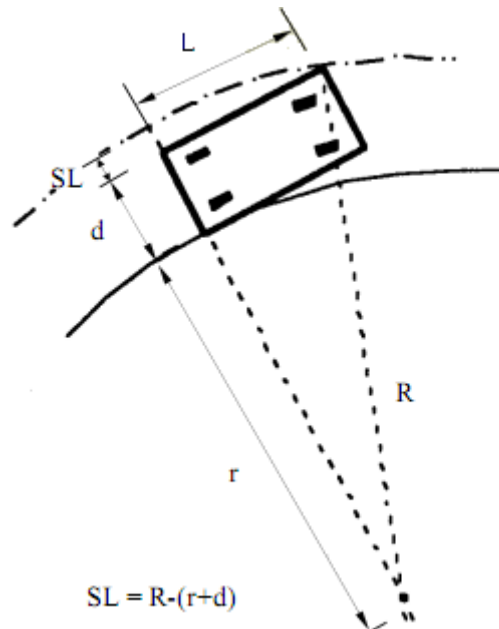


Fig.32 – Esquema de cálculo da sobrelargura.

Sl – Sobrelargura (m);
L – Extensão do veículo (m);
R – Raio da curva (m).

De uma forma simplificada:

$$Sl = \frac{L^2}{R}$$

Admitindo que para os veículos pesados $L=9\text{m}$ obtemos:

$$Sl = \frac{80}{R} \quad (31)$$

A sobrelargura é usualmente introduzida no intradorso da curva, sendo o seu desenvolvimento efectuado ao longo da curva de transição de uma forma linear, isto é, passa de nula em recta até ao seu valor máximo em curva circular.

As Normas do Traçado consideram que para raios superiores a 200 metros a sobrelargura apresenta valores tão reduzidos que podem ser ignorados.

5.2. PARTICULARIDADES DOS RAMOS DOS NÓS DE LIGAÇÃO

5.2.1. SOBREELEVAÇÃO NOS RAMOS

A sobreelevação nos ramos dos nós segue os mesmos princípios gerais da sobreelevação a adoptar nas curvas de uma estrada. No caso de não se obter extensões suficientes para adoptar essas sobreelevações pode-se adoptar valores superiores, podendo ir até 12% no caso de não existir risco de gelo ou neve ou até um máximo de 6%. Por questões de drenagem deve-se adoptar sempre um mínimo de 2,5%. O quadro seguinte apresenta valores entre os quais se devem situar as sobreelevações em função do raio da curva e velocidade no ramo:

Quadro 15 – Sobreelevação nos ramos de ligação.

Raio (m)	Velocidade base						
	(Km/h)						
	30	35	40	45	50	55	60
25 - 30	2,5 - 12	-	-	-	-	-	-
35 - 40	2,5 - 10	3 - 12	-	-	-	-	-
45 - 50	2,5 - 8	3 - 10	4 - 12	-	-	-	-
60	2,5 - 6	3 - 8	4 - 9	6 - 12	-	-	-
75	2,5 - 5	3 - 6	3 - 7	5 - 9	7 - 12	-	-
90	2,5 - 4	3 - 5	3 - 6	4 - 7	5 - 9	8 - 12	-
120	2,5 - 3	2,5 - 4	3 - 5	3 - 6	4 - 7	6 - 9	8 - 12
150	2,5 - 3	2,5 - 3	3 - 4	3 - 5	4 - 6	6 - 8	7 - 10
175	2,5 - 3	2,5 - 3	2,5 - 4	3 - 4	3 - 5	5 - 7	6 - 8
250	2,5 - 3	2,5 - 3	2,5 - 3	3 - 4	3 - 4	5 - 6	5 - 7
300	2,5 - 3	2,5 - 3	2,5 - 3	2,5 - 3	3 - 4	4 - 5	4 - 6

Sempre que possível devem adoptar-se sobreelevações próximas dos valores máximos.

A variação da sobreelevação nos ramos processa-se da mesma forma que em pleno traçado mas pode adoptar-se valores superiores. Em estrada comum adopta-se normalmente uma variação de sobreelevação de 2,8% em cada 20m de extensão ($\Delta S_e = 2,8\%/20m$), nos ramos os valores máximos são:

Quadro 16 – Variação máxima da sobreelevação nos ramos de ligação.

Velocidade no ramo (Km/h)	Variação máxima da sobreelevação (%) em cada 20,0 metros de extensão
< 30	5,3
40	4,7
50	4,0
≥ 60	3,3

O perfil da estrada principal deve ser sempre respeitado, isto é, as sobrelevações devem ser iguais para o ramo enquanto se encontra ligado a ela. No entanto nem sempre é possível. No caso de não se conseguir iniciar o disfarce da Se só a partir do nariz do ramo as normas permitem que esta se inicie antes, havendo uma diferença de inclinação transversal entre a estrada principal e o ramo de ligação. Os valores limites para essa diferença estão definidos no quadro seguinte:

Quadro 17 – Diferença máxima entre a inclinação transversal da estrada principal e de um ramo de ligação.

Velocidade no ramo (Km/h)	Diferença máxima entre inclinações transversais (%)
25 e 30	5 a 8
40 e 50	5 a 6
> 60	4 a 5

5.2.2. SOBRELARGURA NOS RAMOS

Quando o ângulo dos alinhamentos for inferior a 130 graus e o raio a 90 metros, devem adoptar-se sobrelarguras devido às dimensões dos veículos articulados. Os valores das sobrelarguras para os ramos de ligação são indicados no quadro seguinte em função do raio da curva:

Quadro 18 – Sobrelargura das curvas dos ramos de ligação.

Raio (m)	Sobrelargura (m)
35	2,00
45	1,25
55	1,00
65	0,60
75	0,30
90	0,00

5.2.3. NÚMERO DE VIAS DE UM RAMO

Os ramos de ligação dos nós geralmente só apresentam uma via por sentido, mas para grandes extensões e volumes de tráfego elevados poderão ter duas vias. Estas questões estão relacionadas com as ultrapassagens e com questões de fluência de trânsito quando o volume horário de tráfego for elevado. Através da combinação destes factores as Normas de Nós de Ligação apresentam o seguinte ábaco para escolha do número de vias:

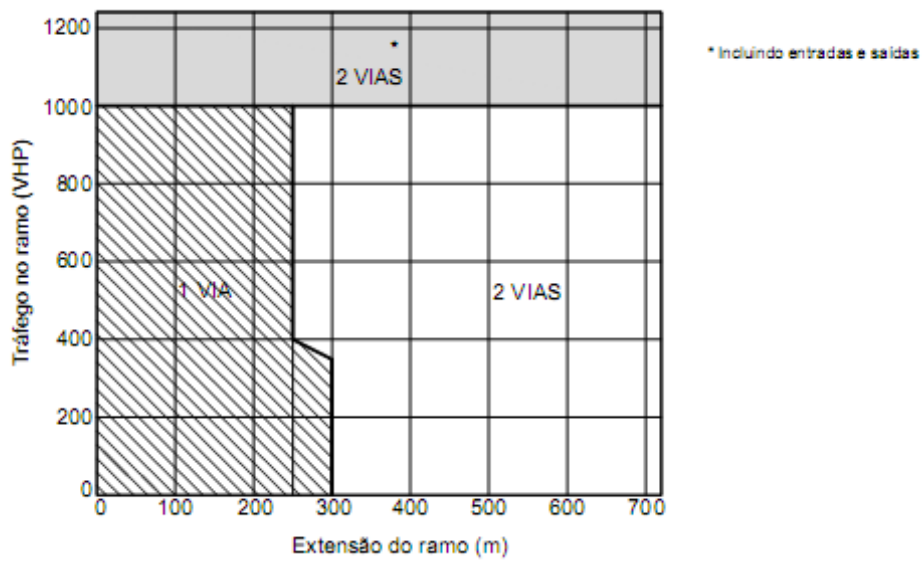


Fig.33 – Número de vias por sentido nos ramos de ligação.

A mudança do número de vias deverá ser sempre feita recorrendo à construção de um “taper”.

De seguida são apresentados esquemas das soluções possíveis para os ramos de ligação:

- Uma via

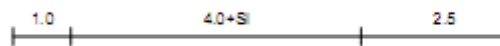


Fig.34 – Ramo unidireccional com uma via.

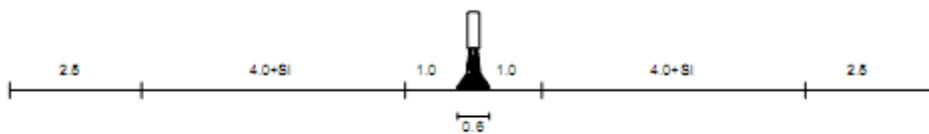


Fig.35 – Ramo bidireccional com uma via por sentido.

- Duas vias



Fig.36 – Ramo unidireccional com duas vias.

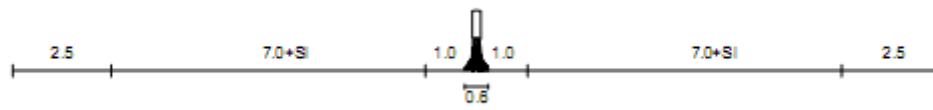


Fig.37 – Ramo bidireccional com duas vias por sentido.

6

PROJECTO DE EXECUÇÃO DE UM NÓ DE LIGAÇÃO EM TROMPA

6.1. OBJECTIVOS DO PROJECTO

O presente estudo refere-se a um Projecto de Execução de um Nó de Ligação em Trompa. Este procura dar início a uma nova rodovia, de faixa única, e fazer a ligação a uma estrada de faixas separadas com planta e perfil longitudinal conhecidos, tendo como objectivo melhorar a qualidade de serviço na zona.

Para a concepção do nó de ligação foram fornecidos os seguintes elementos:

- Planta topográfica da zona à escala 1:1000;
- Perfil longitudinal da estrada principal;
- Planta da Estrada Principal à escala 1:1000.

O projecto deve incluir a planta de implantação do nó de ligação à escala 1:1000 assim como todos os perfis longitudinais de cada ramo à escala $H=1:1000$ e $V=1:100$. O perfil da Estrada Principal ficou à escala $H=1:2000$ e $V=1:200$ devido à sua simplicidade.

6.2. CARACTERÍSTICAS DE UM NÓ EM TROMPA

O Nó de Ligação em Trompa é utilizado quando uma estrada secundária termina na estrada principal, ou seja, entronca nela. É o tipo de nó terminal mais económico mas só deve ser considerado quando não se admite a possibilidade de no futuro a estrada secundária ser prolongada. Este tipo de nó é constituído por dois ramais de viragem à direita, um “Loop” (forma curva e desenvolvimento angular de aproximadamente 300 graus) e um ramal semi-directo de viragem à esquerda. O ramal semi-directo de viragem à esquerda sai da estrada principal com uma curva à direita, tendo características de saída da estrada principal, enquanto que o “Loop” funciona como um ramal de entrada na principal. Os ramais directos têm a função de viragem à direita, sendo um de entrada na principal e outro de saída. A escolha do rebatimento do ramal semi-directo e “Loop” desta forma foram condicionados pelas características do terreno e da rasante da Estrada Principal, pois caso ficasse rebatido ao contrário, isto é, o ramal semi-directo funcionar como entrada na principal e o “Loop” saída exigiria um aterro de dimensões elevadas. O nó de ligação utilizado foi o seguinte:

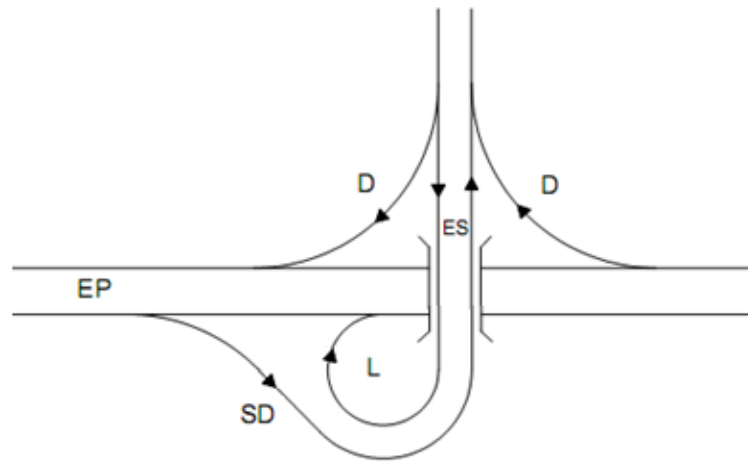


Fig.38 – Esquema do tipo de nó em trompa a utilizar.

D – Ramal Directo;
 SD – Ramal semi-directo;
 L – “Loop”;
 EP – Estrada Principal;
 ES – Estrada Secundária.

A geometria deste tipo de nó apresenta as seguintes vantagens:

- Exige pouco espaço;
- Não apresenta entrecruzamentos na Estrada Secundária, o que lhe garante uma elevada capacidade de tráfego;
- As rampas de saída da Estrada Principal encontram-se antes da obra de arte;
- O ramal directo de entrada na principal está depois da obra de arte;
- A sinalização é simples devido à ausência de pontos de conflito;
- É um nó seguro que não induz os condutores a cometerem manobras erradas.

Como desvantagens apresenta as seguintes:

- A rampa de entrada e viragem à esquerda está antes da obra de arte;
- A via de aceleração correspondente à saída do “Loop” encontra-se sobre a obra de arte;

6.3. ESCOLHAS TOMADAS PARA CONDICIONANTES DO PROJECTO

6.3.1. OBRA DE ARTE

A escolha da localização da obra de arte foi condicionada essencialmente pela topografia do terreno. Ao adaptar-se o traçado à topografia local, a construção terá um custo menor assim como um impacto ambiental menos significativo. Como se pode ver na planta topográfica que nos foi fornecida, o terreno decresce no sentido crescente da quilometragem do Ramo C+D (antiga Estrada Secundária), o que significa que na zona do “Loop” e ramal semi-directo as diferenças de cotas do terreno em relação à rasante da Estrada Principal vão ser elevadas. Uma vez que a rasante da Estrada Principal passa muito próxima do terreno natural se a rasante ficasse por baixo da obra de arte a cota da superfície desta teria ainda de ser acrescida de 5m de “Gabarit” mais 1m da plataforma o que agravaria ainda mais a diferença de cotas da zona de

“Loop” e ramal semi-directo. Optou-se então pela solução de passar a Estrada Principal sobre a Obra de Arte, reduzindo assim significativamente o custo das obras de movimentos de terras. Outra vantagem é o facto de reduzir ao custo da plataforma da Obra de Arte uma vez que a sua extensão será mais reduzida. Como é evidente esta solução também implica desvantagens, principalmente para quem pretende efectuar a manobra de viragem à esquerda de entrada na Estrada Principal pois terá de ultrapassar um desnível elevado, acrescido à grande inclinação existente na Estrada Principal. Esta contrariedade vai obrigar à construção de uma via de aceleração de extensão elevada.

6.3.2. NÚMERO DE VIAS

A Estrada Principal na zona dos Ramos de Nós de Ligação tem 2×2 vias mais as vias auxiliares de mudança de velocidade. No caso dos Ramos, uma vez que não temos dados relativamente ao tráfego, optou-se por apenas considerar uma via por sentido em todos os ramos.

6.3.3. VELOCIDADE

Uma vez que os únicos dados fornecidos foram a planta topográfica, perfil longitudinal e planta da E.P, não temos dados à cerca das velocidades. Optou-se então por considerar uma velocidade de 80 Km/h para a Estrada Principal devido à sua elevada inclinação longitudinal e 40 Km/h para a Estrada Secundária devido às dimensões da sua plataforma e por terminar numa zona de uma intersecção em “T” com outra estrada.

6.4. TRAÇADO EM PLANTA

6.4.1. PARTICULARIDADES TEÓRICAS

Para não se verificarem descontinuidades na directriz dos ramos é necessário que se tire a orientação dos pontos em que se inicia cada ramo. A definição geométrica dos ramos é feita pelo:

- Bordo direito do sentido de circulação, no caso dos ramos unidireccionais;
- Pelo eixo, nos ramos bidireccionais.

Para a definição geométrica dos ramos de ligação foram tidos em consideração vários tipos de situações:

- Situação 1 - “Loop” entre duas rectas;
- Situação 2 - Curva em “S” entre recta e curva circular;
- Situação 3 - Curva ovóide entre duas rectas;
- Situação 4 - “Loop” entre recta e curva circular.

A situação 4 foi testada mas no projecto final não foi aplicada.

O cruzamento entre o nó de ligação e a E.P foi feito em alinhamentos perpendiculares de forma a facilitar a construção dos ramos e minimizar os custos de construção da obra de arte. Estes cruzam-se no Km 8+075,000 da E.P.

Os valores dos parâmetros geométricos necessários foram escolhidos de acordo com os valores apresentados pelas normas.

6.4.2. DEFINIÇÃO GEOMÉTRICA

6.4.2.1. Ramo C+D

Uma vez que o Ramo C+D é um ramo bidireccional a definição geométrica é feita pelo eixo. Este ramo inicia-se logo de seguida a um cruzamento existente na estrada secundária. A necessidade de iniciar o ramo tão perto do cruzamento deve-se à dificuldade de construção dos perfis longitudinais dos ramos como se verá no ponto referente à construção desses perfis. De seguida descrevem-se os passos executados para a construção geométrica do ramo C+D:

a) Ponto e orientação inicial do ramo

Definido o ponto inicial do ramo foi preciso tirar a sua orientação para não existirem descontinuidades de curvatura. Usou-se então um ponto auxiliar pertencente ao eixo da estrada existente.

A listagem das coordenadas e orientações são apresentadas em Anexo (Anexo A.1.2).

b) Definição da primeira curva

A curva inicial do ramo foi construída de forma a intersectar a E.P perpendicularmente. O raio usado foi o mesmo da estrada já existente para passar no mesmo local minimizando assim os custos de construção.

- $R_{\min} = 60m$

Segundo o Quadro 2, referente aos parâmetros geométricos, a partir de um raio de 60m obtém-se um valor para o parâmetro da clotóide de:

- $A = 45,0m$

Cálculos auxiliares para definir ramo:

$$\Delta r = \frac{45^2}{24 \times 60^3} = 0,762$$

$$R' = 60 + 0,791 = 60,762m$$

$$L = \frac{45^2}{60} = 33,750m$$

$$\tau = \frac{33,750}{2 \times 60} = 0,281 \text{ rad}$$

$$x = 33,750 - \frac{33,750^5}{40 \times 45^4} + \frac{33,750^9}{3456 \times 45^8} = 33,484m$$

$$Xm = 33,484 - 60 \times \sin(0,281) = 16,845m$$

As clotóides de entrada e saída são iguais para facilitar a compreensão da curva.

c) Curva de saída

O Ramo C+D termina quando se iniciarem os Ramos C e D. Este termina em curva e essa curva foi construída em consonância com a do Ramo C pois terá continuidade do Ramo C+D para o C.

- $R_{\min} = 51,3m$

Este valor foi obtido somando um raio de 45m do Ramo C mais a largura faixa de rodagem e separador.

Pelo quadro 2:

- $A = 60m$

Cálculos auxiliares para definir ramo:

$$\Delta r = 4,000m$$

$$R' = 55,300m$$

$$L = 70,175m$$

$$\tau = 0,684rad$$

$$x = 66,964m$$

$$Xm = 34,548m$$

Em seguida apresenta-se a planta referente ao eixo do ramo C+D:

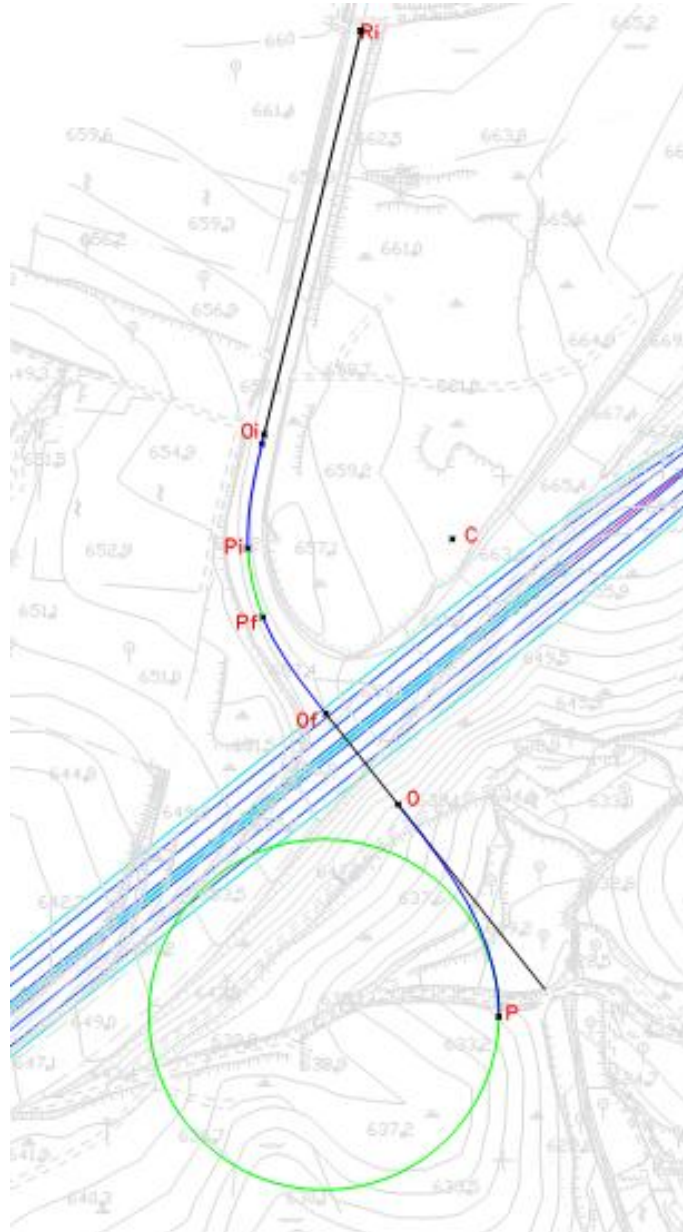


Fig.39 – Definição geométrica do eixo do ramo C+D.

A cor verde representa as curvas circulares, azul as clotóides e preto as rectas.

6.4.2.2. Ramo A

O Ramo A é um ramo directo de saída da E.P para a Estrada Secundária. É um ramo unidireccional logo a definição geométrica será feita pelo bordo direito do sentido de circulação. A solução encontrada para intersectar a E.P com o ramo C+D foi a situação de loop entre duas rectas. Os passos executados para a sua execução foram:

- a) Orientações iniciais e finais do ramo

Para se iniciar a construção do ramo teve de se traçar duas paralelas aos eixos das estradas (E.P e Ramo C+D). Para isso teve de se definir a largura máxima a dar às vias de entrada e de saída

de Ramo A. A via de entrada ficou com uma largura igual às faixas de plena via da principal, isto é, 3,75m. Na via de saída uma vez que a velocidade já será menor considerou-se uma largura de 3,5m. A distância das rectas auxiliares será então de:

- Via de entrada no ramo

Considerando 0,30m do separador, 1m de berma, 3,75m de largura da faixa do ramo e duas faixas de 3,75:

$$d=0,30+1,00+3,75+2\times 3,75=12,55\text{m}$$

- Via de saída no ramo

Considerando 0,30m do separador, 1m de berma, 3,5m de largura da faixa do ramo e 4,00 da faixa do Ramo C+D:

$$d=0,30+1,00+3,5+4,00=8,80\text{m}$$

As orientações de início e fim do ramo serão apresentadas em anexo (Anexo A.1.3).

b) Definição da curva

Uma vez que as rectas se intersectam segundo um ângulo muito pequeno o raio escolhido para a curva circular teve de ser reduzido. Se o valor do raio fosse muito elevado o ramo teria uma extensão muito grande e acabaria muito próximo do cruzamento da secundária e se este fosse pequeno demais criaria uma redução de velocidade muito grande para que pretende-se sair da E.P. Inicialmente começou-se por considerar um raio de 45m e um parâmetro A de 50, mas devido às grandes diferenças de cotas não foi possível compatibilizar os perfis longitudinais. Em seguida, e como finais optou-se por os seguintes valores:

- $R_{\min} = 50\text{m}$
- $A_{\text{entrada}} = 60\text{m}$
- $A_{\text{saída}} = 45\text{m}$

Cálculos auxiliares para definir ramo:

Entrada	Saída
$\Delta r = 1,367\text{m}$	$\Delta r = 1,367\text{m}$
$R' = 51,367\text{m}$	$R' = 51,367\text{m}$
$L = 40,500\text{m}$	$L = 40,500\text{m}$
$\tau = 0,405\text{rad}$	$\tau = 0,405\text{rad}$
$x = 39,841\text{m}$	$x = 39,841\text{m}$
$X_m = 20,140\text{m}$	$X_m = 20,140\text{m}$

Em seguida apresenta-se a planta referente ao bordo do ramo A:

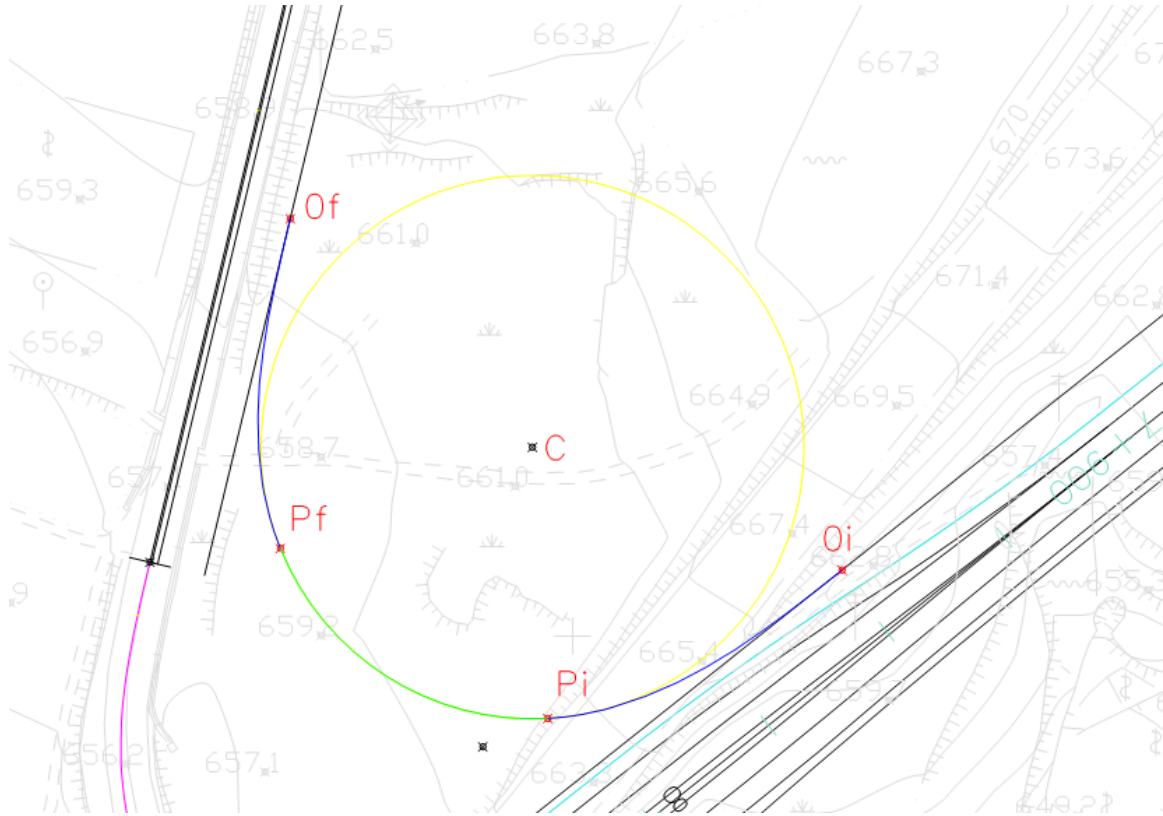


Fig.40 – Definição geométrica do bordo direito do ramo A.

A cor verde representa a curva circular, azul as clotóides, preto as rectas e amarelo as circunferências auxiliares.

6.4.2.3. Ramo B

Da mesma forma que o Ramo A, o Ramo B é um ramo directo mas de entrada na E.P. É um ramo unidireccional logo a definição geométrica será feita pelo bordo direito do sentido de circulação. A solução encontrada para intersectar a E.P com o ramo C+D foi a situação de loop entre duas rectas. Ainda foi tentada a intersecção entre recta e a curva circular do Ramo C+D mas a solução dava uma extensão do ramo muito reduzida. Os passos executados para a sua execução foram:

a) Orientações iniciais e finais do ramo

Traçaram-se duas paralelas aos eixos das estradas (E.P e Ramo C+D). Para isso teve de se definir a largura máxima a dar às vias de entrada e de saída de Ramo B. A via de saída ficou com uma largura igual às faixas de plena via da principal, isto é, 3,75m. Na via de entrada uma vez que a velocidade já será menor considerou-se uma largura de 3,5m. A distância das rectas auxiliares será então de:

- Via de saída do ramo

Considerando 0,30m do separador, 1m de berma, 3,75m de largura da faixa do ramo e duas faixas de 3,75:

$$d=0,30+1,00+3,75+2\times 3,75=12,55\text{m}$$

- Via de entrada no ramo

Considerando 0,30m do separador, 1m de berma, 3,5m de largura da faixa do ramo e 4,00 da faixa do Ramo C+D:

$$d=0,30+1,00+3,5+4,00=8,80\text{m}$$

As orientações do início e fim do ramo serão apresentadas em anexo (Anexo A.1.4).

b) Definição da curva

As rectas intersectam-se segundo ângulos elevados o que fará com que a extensão do ramo seja grande. Apesar das desvantagens económicas que nos poderá trazer também trás vantagens para disfarce da grande diferenças de cotas que existe entre o ponto de entrada do ramo e de saída. Também permite apresentar velocidades elevadas para inserção na via principal. Optou-se então por considerar os seguintes valores:

- $R_{\min} = 200\text{m}$
- $A = 120\text{m}$

Cálculos auxiliares para definir ramo:

$$\Delta r = 1,080\text{m}$$

$$R' = 201,080\text{m}$$

$$L = 72,000\text{m}$$

$$\tau = 0,180\text{rad}$$

$$x = 71,767\text{m}$$

$$X_m = 35,961\text{m}$$

Em seguida apresenta-se a planta referente ao bordo do ramo B:



Fig.41 – Definição geométrica do bordo direito do ramo B.

A cor verde representa as curvas circulares, azul as clotóides, preto as rectas e amarelo as circunferências auxiliares.

6.4.2.4. Ramo D

O Ramo D faz a ligação entre o Ramo C+D e a E.P. É um ramo semi-directo de saída da E.P. É constituído por uma curva em “S” e como é um ramo unidireccional é definido pelo bordo direito no sentido de circulação. Terá de se traçar uma circunferência com o mesmo centro que o eixo do Ramo C+D para existir continuidade dessa curva, mas com o raio aumentado da largura da faixa, separador e bermas. O início do ramo será o ponto em que a clotóide de saída intersectar o Ramo C+D. Os passos executados foram os seguintes:

a) Orientações iniciais e finais do ramo

Traça-se uma paralela ao eixo da E.P e uma circunferência com o mesmo centro que o eixo do Ramo C+D. A largura da faixa do Ramo C+D é de 5,00m, devido à sobrelargura (a sobrelargura será explicada em seguida num ponto próprio). A largura da faixa de saída do ramo será de 3,75m.

- Via de saída do ramo

Considerando 0,30m do separador, 1m de berma e 5,00m de largura da faixa do ramo:

$$d=0,30+1,00+5,00=6,30\text{m}$$

- Via de entrada do ramo

Considerando 0,30m do separador, 1m de berma, 3,75m de largura da faixa do ramo e duas faixas de 3,75:

- $d=0,30+1,00+3,75+2\times 3,75=12,55\text{m}$

As orientações de início e fim do ramo serão apresentadas em anexo (Anexo A.1.6).

b) Definição da curva de saída do ramo

O valor do raio escolhido foi o raio do eixo C+D mais a distância calculada anteriormente. O parâmetro foi determinado a partir das tabelas das normas. Optou-se então por considerar os seguintes valores:

- $R_{\min} = 57,6\text{m}$
- $A = 60\text{m}$

Cálculos auxiliares para definir ramo:

$$\Delta r = 2,826\text{m}$$

$$R' = 60,426\text{m}$$

$$L = 62,500\text{m}$$

$$\tau = 0,543\text{rad}$$

$$x = 60,685\text{m}$$

$$X_m = 30,946\text{m}$$

c) Definição da curva de entrada do ramo

- $R_{\min} = 80\text{m}$
- $A = 60\text{m}$

Cálculos auxiliares para definir ramo:

$$\Delta r = 1,055\text{m}$$

$$R' = 81,055\text{m}$$

$$L = 45,000\text{m}$$

$$\tau = 0,281\text{rad}$$

$$x = 44,645\text{m}$$

$$X_m = 22,441\text{m}$$

$$\Delta x = 30,946 + 22,441 = 53,387\text{m}$$

$$\Delta y = 60,426 + 81,055 = 141,481\text{m}$$

$$D = 151,555\text{m}$$

$$\theta = 0,361\text{rad}$$

A clotóide de entrada é igual à de saída.

Em seguida apresenta-se a planta referente ao bordo do ramo D:

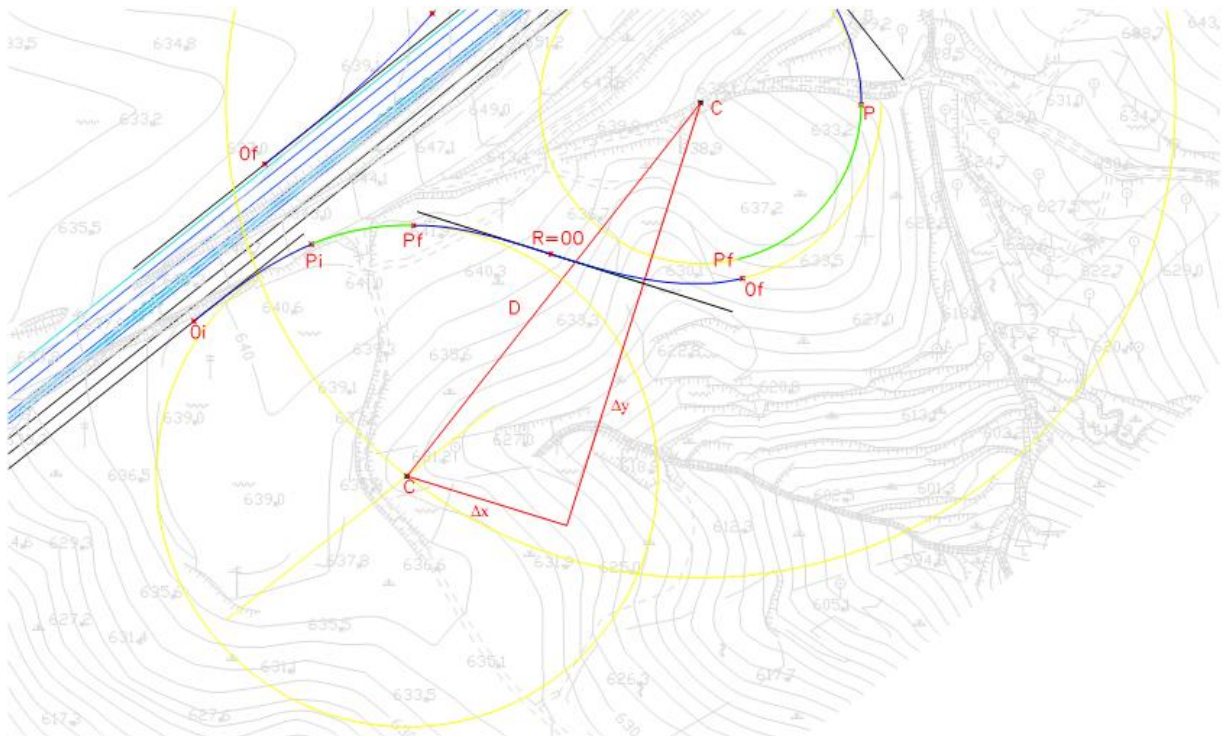


Fig.42 – Definição geométrica do bordo direito do ramo D.

A cor verde representa as curvas circulares, azul as clotóides, preto as rectas, amarelo circunferências auxiliares e a vermelho o triângulo de construção da curva em “S”.

6.4.2.5. Ramo C

Por fim, o Ramo C, constituído por uma curva ovóide, faz a ligação entre o Ramo C+D e E.P. É um ramo de entrada na E.P e a sua intersecção, da mesma forma que o Ramo D, é feita entre o eixo da principal e a curva circular do Ramo C+D. Para existir continuidade da curva circular do Ramo C+D usa-se o centro dessa curva mas com um raio reduzido da largura da faixa, separador e bermas. O início do Ramo é o ponto onde o Ramo D se separa do C+D. Os passos executados foram os seguintes:

a) Orientações iniciais e finais do ramo

Traça-se uma paralela ao eixo da E.P e uma circunferência com o mesmo centro que o eixo do Ramo C+D. A largura da faixa do Ramo C+D é de 5,00m. A largura da faixa de saída do ramo será de 3,75m.

- Via de entrada no ramo

Considerando 0,30m do separador, 1m de berma, 5,00m de largura da faixa do ramo:

$$d=0,30+1,00+5,00=6,30\text{m}$$

- Via de saída do ramo

Considerando 0,30m do separador, 1m de berma, 3,75m de largura da faixa do ramo e duas faixas de 3,75:

- $d=0,30+1,00+3,75+2\times 3,75=12,55\text{m}$

As orientações do início dos ramos serão apresentadas em anexo (Anexo A.1.5).

b) Definição da curva

O valor do raio foi escolhido em consenso com o do Ramo C+D para haver continuidade deste. O parâmetro foi determinado a partir das tabelas das normas. Optou-se então por considerar os seguintes valores:

- $R_{\min} = 45\text{m}$
- $A = 40\text{m}$

Cálculos auxiliares para definir o ramo:

$$\Delta r = 1,171\text{m}$$

$$R' = 46,171\text{m}$$

$$L = 35,556\text{m}$$

$$\tau = 0,395\text{rad}$$

$$x = 35,005\text{m}$$

$$X_m = 17,686\text{m}$$

Em seguida apresenta-se a planta referente ao bordo do ramo C:

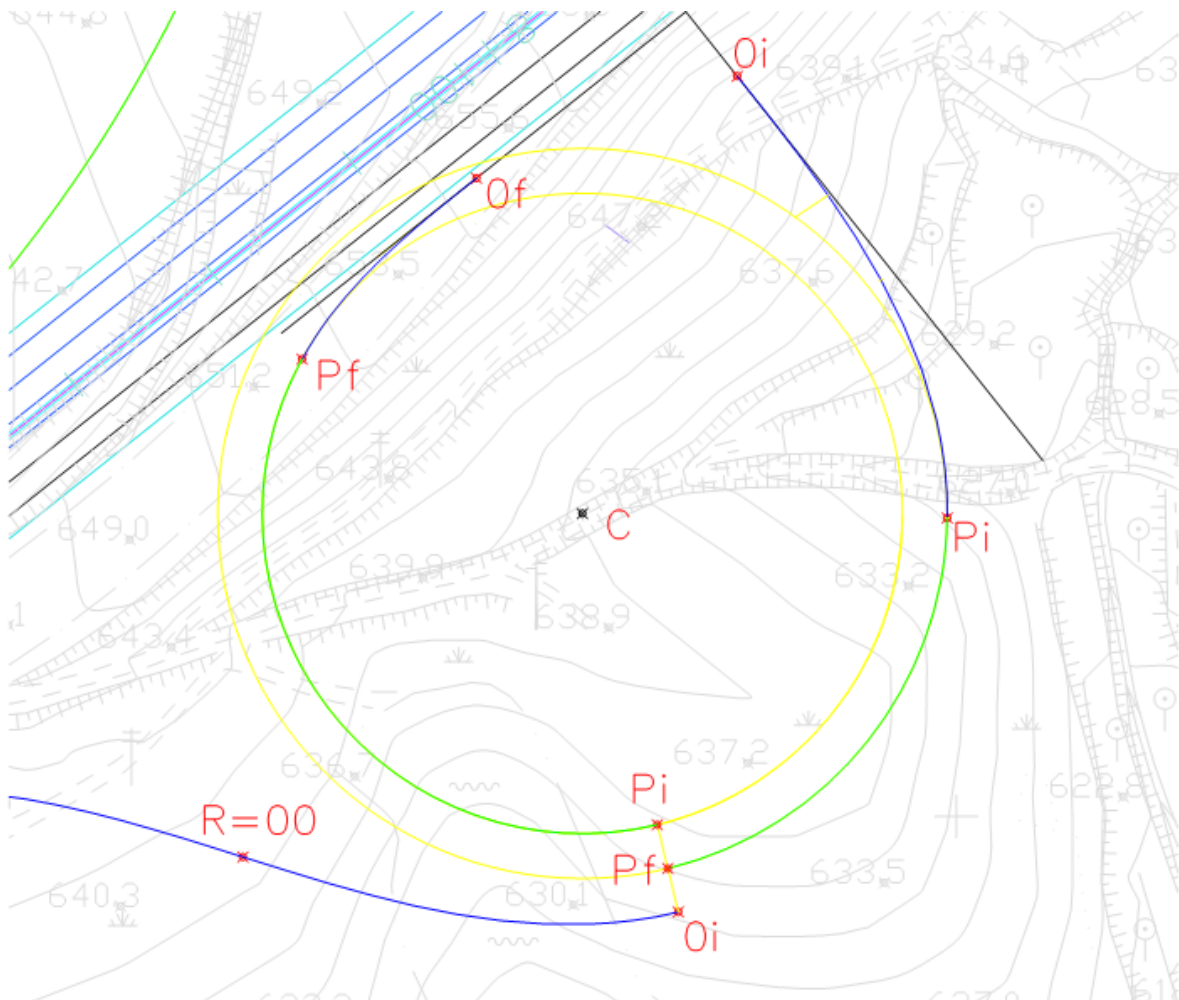


Fig.43 – Definição geométrica do bordo direito do ramo C.

A cor verde representa as curvas circulares, azul as clotóides, preto as rectas e amarelo as circunferências auxiliares.

6.4.3. DEFINIÇÃO DOS BORDOS EXTERIORES E BERMAS

6.4.3.1. Ramo C+D

Uma vez definido o eixo do ramo o passo seguinte é geometrizar os bordos das vias. O ramo C+D é bidireccional logo terá de se introduzir um separador central. O separador utilizado é do tipo “New Jersey”, com 0,60m de largura. Para geometrizar os bordos interiores teve de se recorrer a “taper” devido à introdução do separador central. Os valores utilizados para os raios dos “taper” foram:

- $d = 1,3\text{m}$
- $l = 45,0\text{m}$
- $R_1 = R_2 = 389,748\text{m}$
- $\theta = 3,677\text{rad}$

O início do taper começa numa perpendicular ao final do Ramo A para respeitar as larguras correspondentes ao Ramo C+D.

No início do ramo a largura da via de entrada não é a mesma que se pretende para o ramo logo será também necessário introduzir “taper” para disfarçar essa diferença. Os valores utilizados são:

- $d = 2,009\text{m}$
- $l = 61,327\text{m}$
- $R_1 = R_2 = 468,521\text{m}$
- $\theta = 4,169\text{rad}$

A largura em recta para os ramos é de 4,00m (valor definido na norma). Em curva é necessário acrescentar Sl. Esse valor é definido no Quadro 10. Para a primeira curva, uma vez que o raio é de 60m a sobrelargura é de 0,8m, para a curva final, com o raio de 51,3m acrescenta-se 1m.

O valor da sobrelargura é acrescentado para as duas vias e no bordo direito do sentido de circulação. Este é inserido em clotóide e com um disfarce linear.

A largura das bermas interiores e exteriores são 1,00m e 2,5m respectivamente.

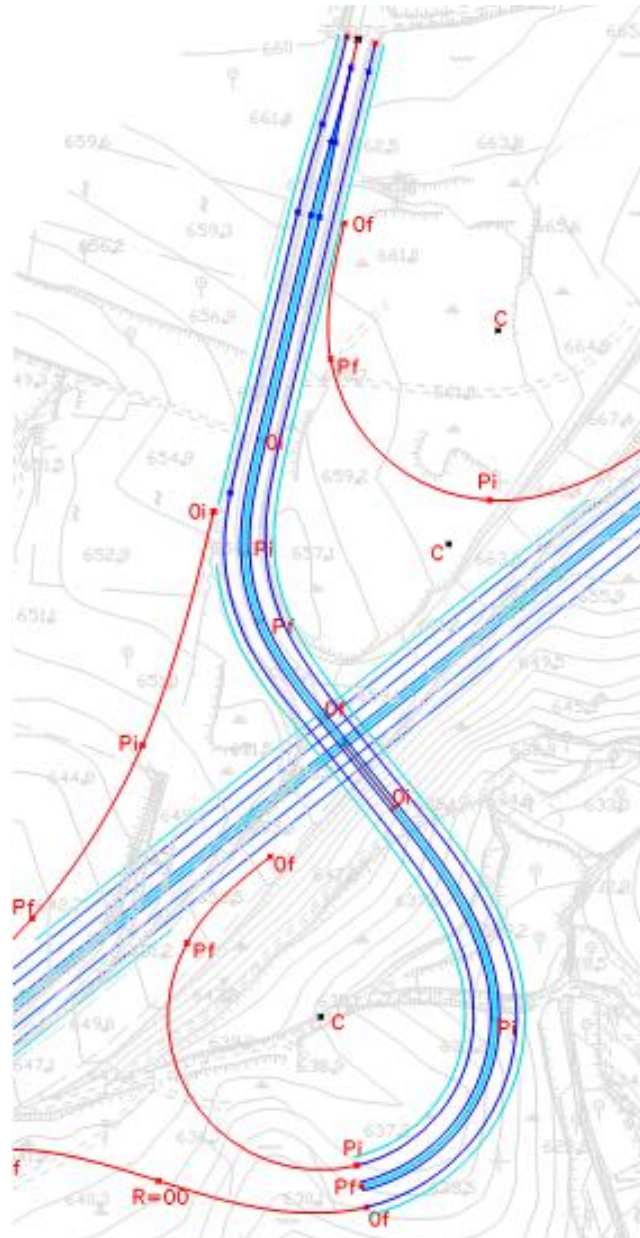


Fig.44 – Definição geométrica dos bordos e bermas no Ramo C+D.

A cor vermelha representa o eixo de geometrização no Ramo C+D e bordos direitos nos restantes ramos, a azul escuro os bordos e azul claro as bermas.

6.4.3.2. Ramo A

No Ramo A, o valor da SI a acrescentar aos 4,00m de largura foi de 1,25m. O disfarce entre os 3,75m do início do ramo e os 5,25m da curva circular foi feito em clotóide, no bordo esquerdo e com um disfarce linear. Na saída procedeu-se da mesma forma mas para uma diferença de 5,25m para 3,5m.

A largura das bermas esquerda e direita são 1,00m e 2,5m respectivamente.

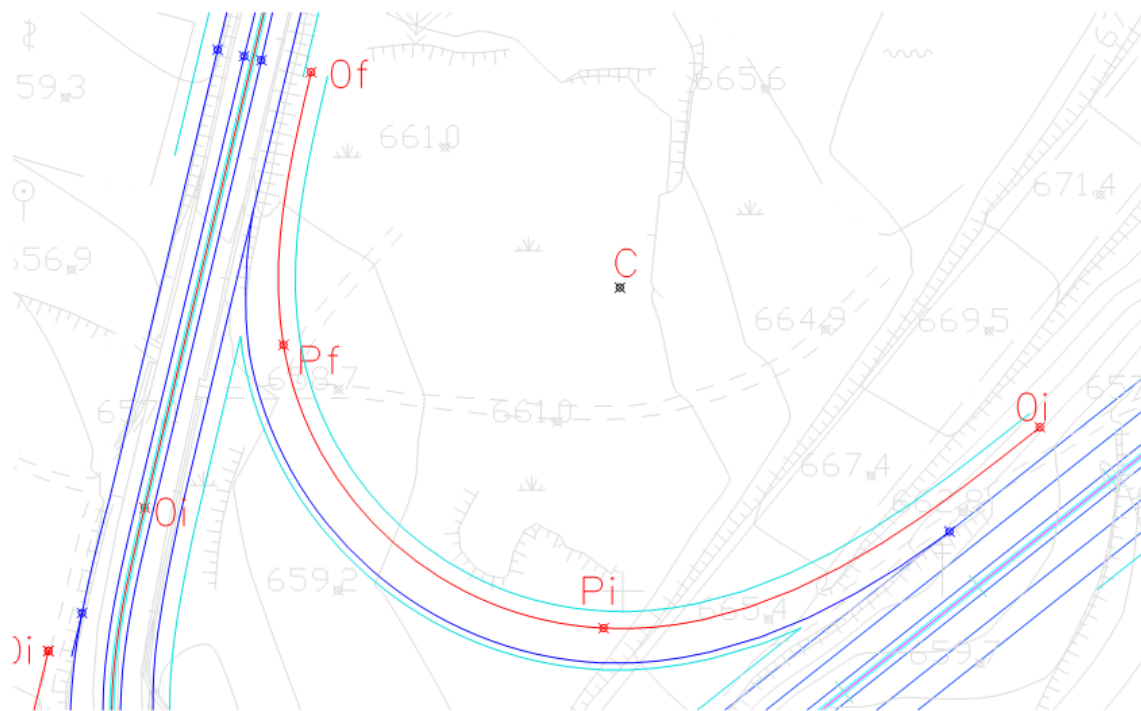


Fig.45 – Definição geométrica dos bordos e bermas no Ramo A.

A cor vermelha representa o bordo de geometrização, a azul escuro o bordo esquerdo e azul claro as bermas.

6.4.3.3. Ramo B

Para o Ramo B uma vez que o raio é igual a 200m não necessita de SI. O disfarce entre os 3,5m de entrada, 4m na curva circular e 3,75m na saída será feito da mesma forma que para o Ramo A. A largura das bermas será igualmente 1,00m e 2,5m.

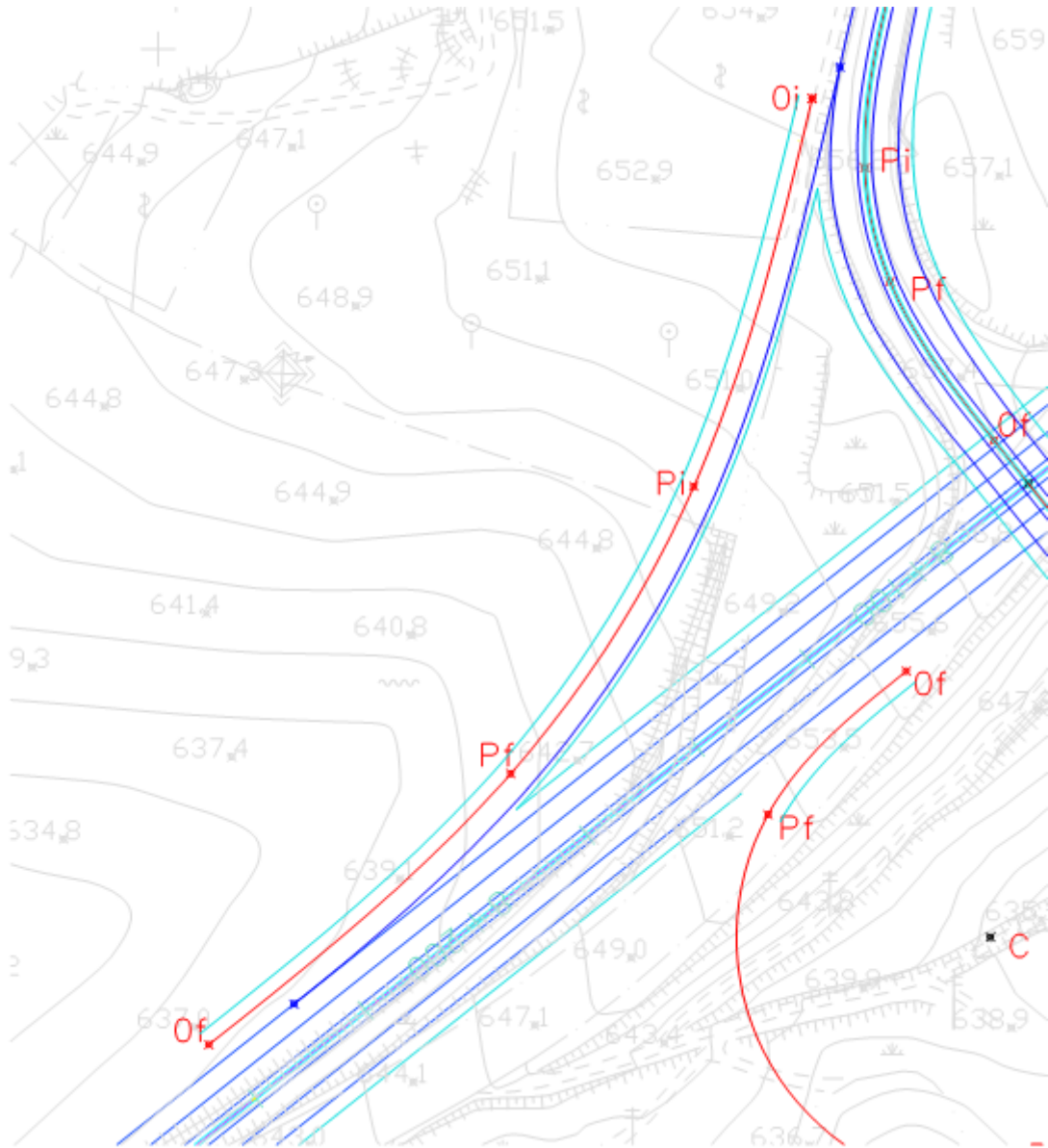


Fig.46 – Definição geométrica dos bordos e bermas no Ramo B.

A cor vermelha representa o bordo de geometrização, a azul escuro o bordo esquerdo e azul claro as bermas.

6.4.3.4. Ramo C

No ramo C apesar do raio ser de 45m manteve-se a SI de 1m vinda do Ramo C+D para manter uniforme a largura da via. Na clotóide de saída teve de se passar de 5m para 3,75 (da mesma forma que para os ramos anteriores). As bermas apresentam a mesma largura que nos restantes ramos.

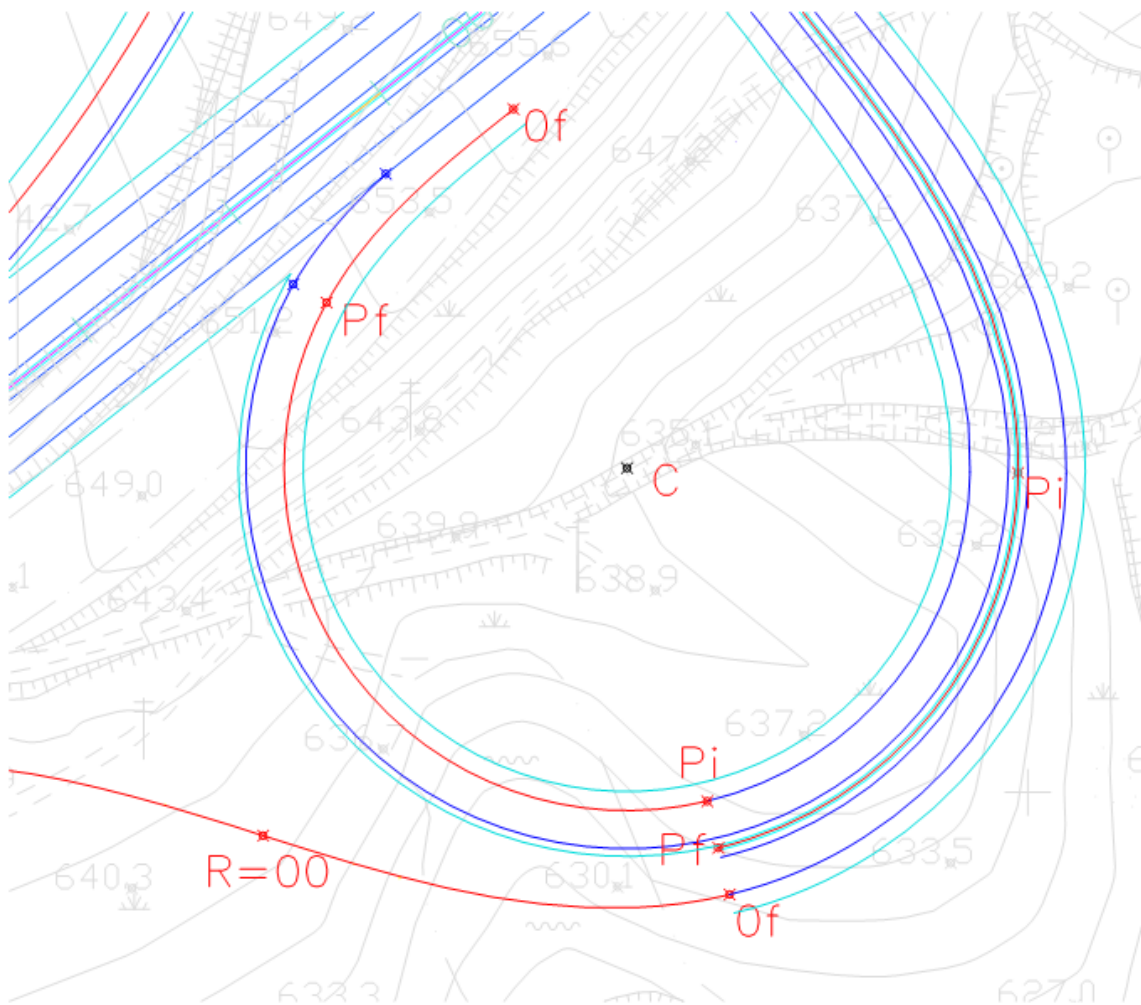


Fig.47 – Definição geométrica dos bordos e bermas no Ramo C.

A cor vermelha representa o bordo de geometrização, a azul escuro o bordo esquerdo e azul claro as bermas.

6.4.3.5. Ramo D

Na entrada do ramo, para um raio de 80m a sobrelargura adicional é de 0,2m, para a saída a SI é de 1,00m como no Ramo C+D. Os disfarces de larguras da via também são feitas de forma linear, em clotoide e no bordo esquerdo. As bermas também são de 1,00m e 2,5m.

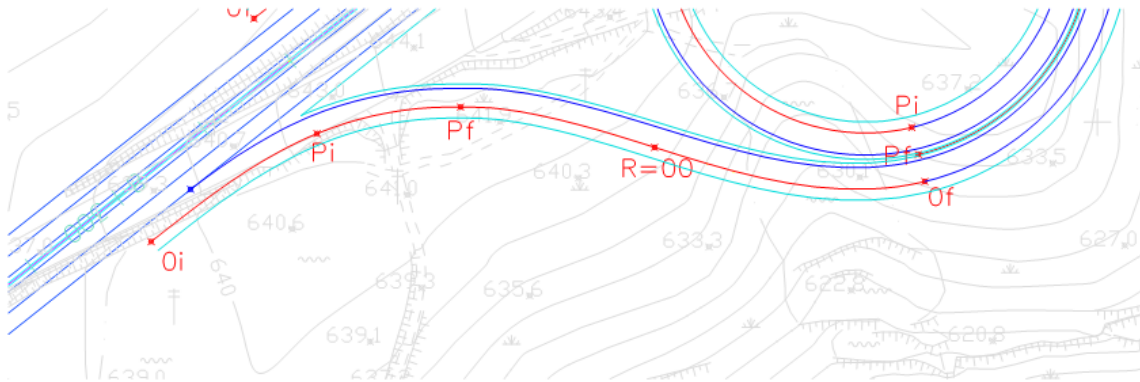


Fig.48 – Definição geométrica dos bordos e bermas no Ramo D.

A cor vermelha representa o bordo de geometrização, a azul escuro o bordo esquerdo e azul claro as bermas.

6.4.4. VIAS AUXILIARES ASSOCIADAS AOS RAMOS

6.4.4.1. Ramo A

Para se efectuarem as entradas e saídas nos ramos de ligação são necessárias vias auxiliares para permitir as variações de velocidade. A metodologia utilizada está referida no ponto 3.1.4.3. Em seguida são apresentados os seus valores de construção:

a) Via de abrandamento

- O raio mínimo, isto é, o raio da curva circular é de 45m logo a velocidade específica do ramo será de 40 Km/h;
- A velocidade da Estrada Principal neste troço é considerada de 80 Km/h;
- A via de abrandamento tem a mesma inclinação longitudinal que a E.P, isto é, de -6%.

Segundo as Normas Espanholas (por interpolação)

para $i < \pm 2\%$

$$\begin{cases} V_{\text{ramo}} = 40 \text{ Km/h} \\ V_{\text{E.P}} = 80 \text{ Km/h} \end{cases} \xrightarrow{\text{origina}} \begin{cases} \text{"taper"} = 65\text{m} \\ \text{via} + \text{taper} = 90\text{m} \end{cases}$$

factor multiplicativo de correcção de i

$$\begin{cases} i = 5 \text{ a } 6\% \Rightarrow 1,35 \\ \text{declive} \end{cases} \xrightarrow{\text{logo}} \begin{cases} \text{"taper"} = 65 \times 1,35 = 87,75 \approx 90\text{m} \\ \text{via} + \text{taper} = 90 \times 1,35 = 121,5 \approx 125\text{m} \end{cases}$$

- Uma vez que o ponto que determina a velocidade mínima é o ponto de início da curva circular a via de abrandamento deveria terminar aí, mas como as diferenças de velocidades em plena via e ramo são elevadas decidiu-se terminar a via de abrandamento no ponto inicial da clotóide, fazendo coincidir o ponto “O” com o final do “taper”. O real tamanho da via de abrandamento passará a ser de $53,556+90=145,556\text{m}$, favorecendo assim a segurança.
- Construção do “taper”

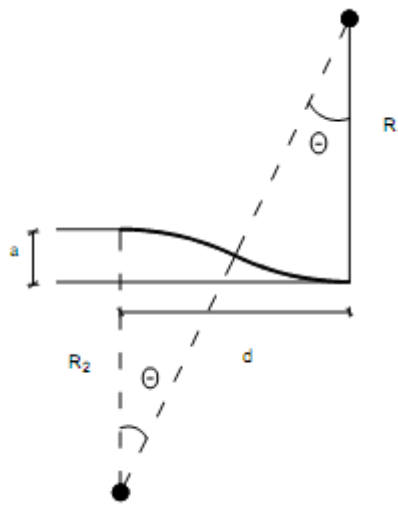


Fig.9 – Construção do “Taper” em recta

$$l = 3,75\text{m}$$

$$d = 90,00\text{m}$$

$2R_1=R_2 \Rightarrow$ considerou-se R_1 metade de R_2 porque à saída do “taper” temos uma curva de sinal contrário, logo se este raio for maior o condutor sentirá menos a diferença de sinais.

$$\theta = 2 \cdot \arctg \frac{l}{d} = 5,302\text{gr}$$

$$R_1 + 2 \cdot R_2 = \frac{d}{\sin\theta} \Leftrightarrow \begin{cases} R_1 = 360,625\text{m} \\ R_2 = 721,250\text{m} \end{cases}$$

As listagens das coordenadas do “taper” são apresentadas em Anexo (A.1.3).



Fig.49 – Via de abrandamento associada ao Ramo A.

A cor magenta representa a via auxiliar e a amarelo as circunferências auxiliares.

b) Via de aceleração

- O raio mínimo é de 45m logo a velocidade específica do ramo será de 40 Km/h;
- A velocidade do Ramo C+D neste troço é fixada em 50 Km/h, pois em seguida tem um cruzamento e antes apresenta uma curva de raio reduzido;
- A via de aceleração tem a mesma inclinação longitudinal que a o Ramo C+D, isto é, de 1,6%.

Segundo as Normas Espanholas (por interpolação)

para $i < \pm 2\%$

$$\begin{cases} V_{\text{ramo}} = 40 \text{ Km/h} \\ V_{\text{C+D}} = 50 \text{ Km/h} \end{cases} \xrightarrow{\text{origina}} \begin{cases} \text{"taper"} = 45\text{m} \\ \text{via} + \text{taper} = 45\text{m} \end{cases}$$

- O início da via de aceleração deveria ser o ponto final da curva circular, pois é aí que se determina a velocidade mínima, mas considerou-se o início da via no ponto final da clótide, ficando assim com uma extensão superior ($l=55,556+45,0=100,556$);

- Construção do “taper”

$$l = 3,5m$$

$$d = 45,00m$$

$R_1 = 2 \cdot R_2 \Rightarrow$ a explicação para que o R_1 seja o dobro de R_2 parte dos mesmos princípios que da via de abrandamento.

$$\theta = 2 \cdot \arctg \frac{l}{d} = 9,883gr$$

$$2 \cdot R_1 + R_2 = \frac{d}{\sin \theta} \Leftrightarrow \begin{cases} R_1 = 194,024m \\ R_2 = 97,012m \end{cases}$$

As listagens das coordenadas do “taper” são apresentadas em Anexo (A.1.3).

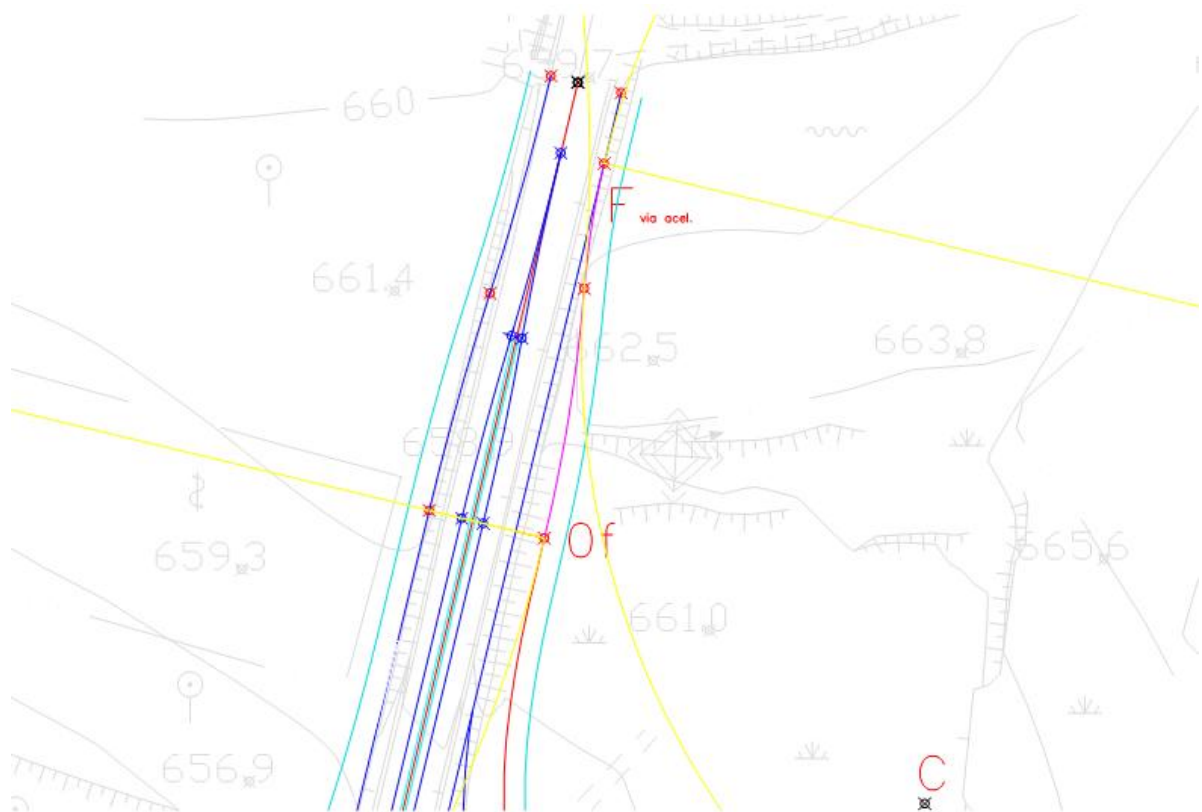


Fig.50 – Via de aceleração associada ao Ramo A.

A cor magenta representa a via auxiliar e a amarelo as circunferências auxiliares.

6.4.4.2. Ramo B

Uma vez que o ramo apresenta um raio mínimo elevado a velocidade será maior que o Ramo C+D mas não faz sentido criar uma via de aceleração para entrar num ramo. Optou-se então por criar apenas um “taper” para entrar no ramo e o veículo atingirá a velocidade do ramo durante a clotóide.

a) Via de entrada no ramo

- A velocidade do Ramo C+D é de 50 Km/h devido à inclinação e à proximidade do cruzamento;
- A velocidade do Ramo B é de 70 Km/h devido ao seu elevado raio mínimo;
- A via de entrada tem a mesma inclinação longitudinal que o Ramo C+D, isto é, encontra-se em concordância com um máximo de -8%;
- Por razões estéticas e de segurança considerou-se como mínimo para a extensão do “taper” 75m e uma vez que em seguida no Ramo C+D existe uma curva podia dificultar a sua leitura.
- Construção do “taper”

$$l = 3,5m$$

$$d = 75,00m$$

$$2R_1 = R_2$$

$$\theta = 2 \cdot \arctg \frac{l}{d} = 5,937gr$$

$$R_1 + 2 \cdot R_2 = \frac{d}{\sin\theta} \Leftrightarrow \begin{cases} R_1 = 268,440m \\ R_2 = 536,880m \end{cases}$$

As listagens das coordenadas do “taper” são apresentadas em Anexo (A.1.4).

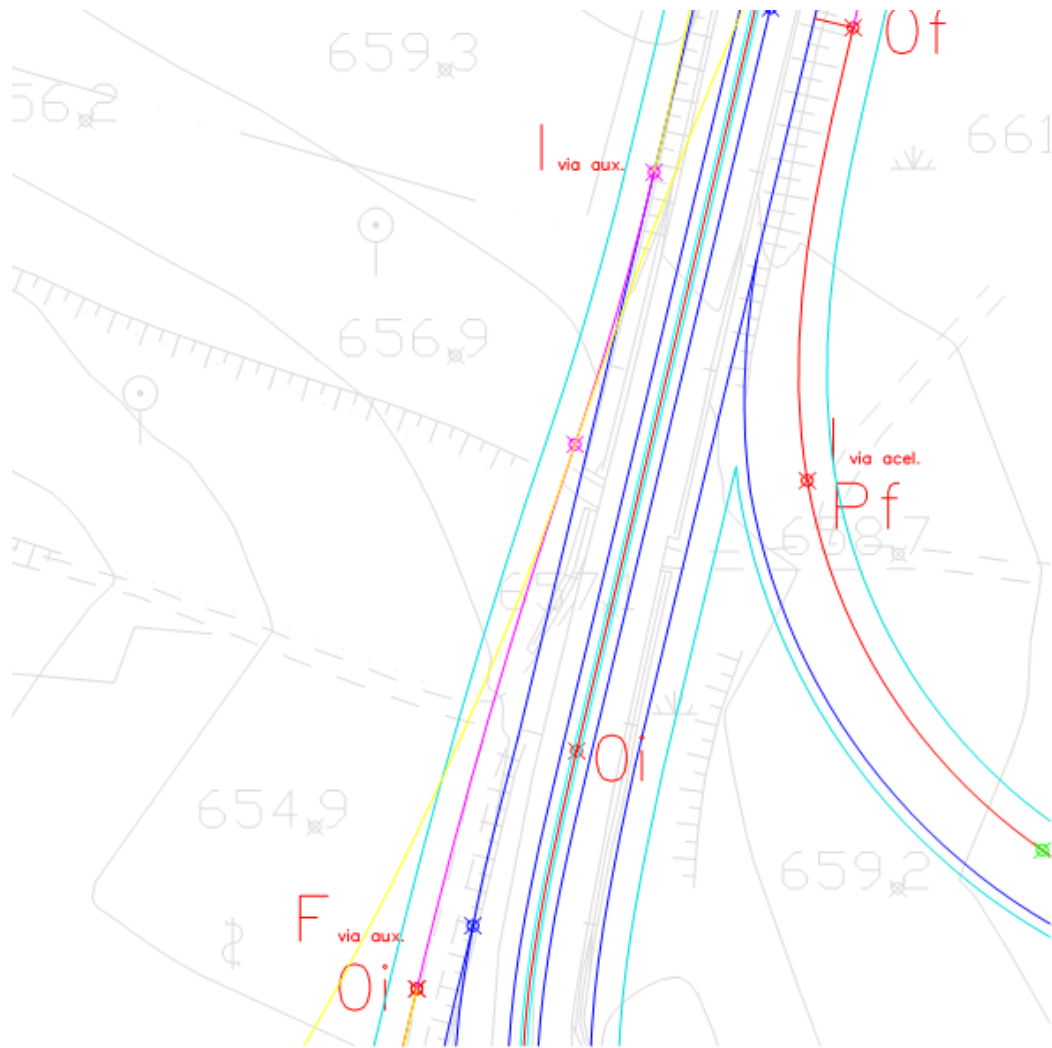


Fig.51 – Via de entrada associada ao Ramo B.

A cor magenta representa a via auxiliar e a amarelo as circunferências auxiliares.

b) Via de aceleração

- A velocidade do Ramo B é de 70 Km/h;
- A velocidade da Estrada Principal é de 80 Km/h;
- A via de aceleração tem a mesma inclinação longitudinal de -6% igual à da via principal.

Segundo as Normas Espanholas (por interpolação)

para $i < \pm 2\%$

$$\begin{cases} V_{ramo} = 70 \text{ Km/h} \\ V_{E.P} = 80 \text{ Km/h} \end{cases} \xrightarrow{\text{origina}} \text{"taper"} = 65\text{m}$$

factor multiplicativo de correcção de i

$$\left\{ \begin{array}{l} i = 8\% \Rightarrow 0,55 \\ \text{declive} \end{array} \right. \xrightarrow{\text{logo}} \text{"taper"} = 65 \times 0,55 = 35,75\text{m}$$

- Uma vez que a extensão é muito reduzida adoptou-se um “taper” de 75m.
- O “taper” inicia-se no ponto final da clotóide.
- Construção do “taper”

$$l = 3,75\text{m}$$

$$d = 75,00\text{m}$$

$$R_1 = 2 \cdot R_2$$

$$\theta = 2 \cdot \arctg \frac{l}{d} = 6,361\text{gr}$$

$$2 \cdot R_2 + R_1 = \frac{d}{\sin\theta} \Leftrightarrow \begin{cases} R_1 = 501,250\text{m} \\ R_2 = 250,625\text{m} \end{cases}$$

As listagens das coordenadas do “taper” são apresentadas em Anexo (A.1.4).

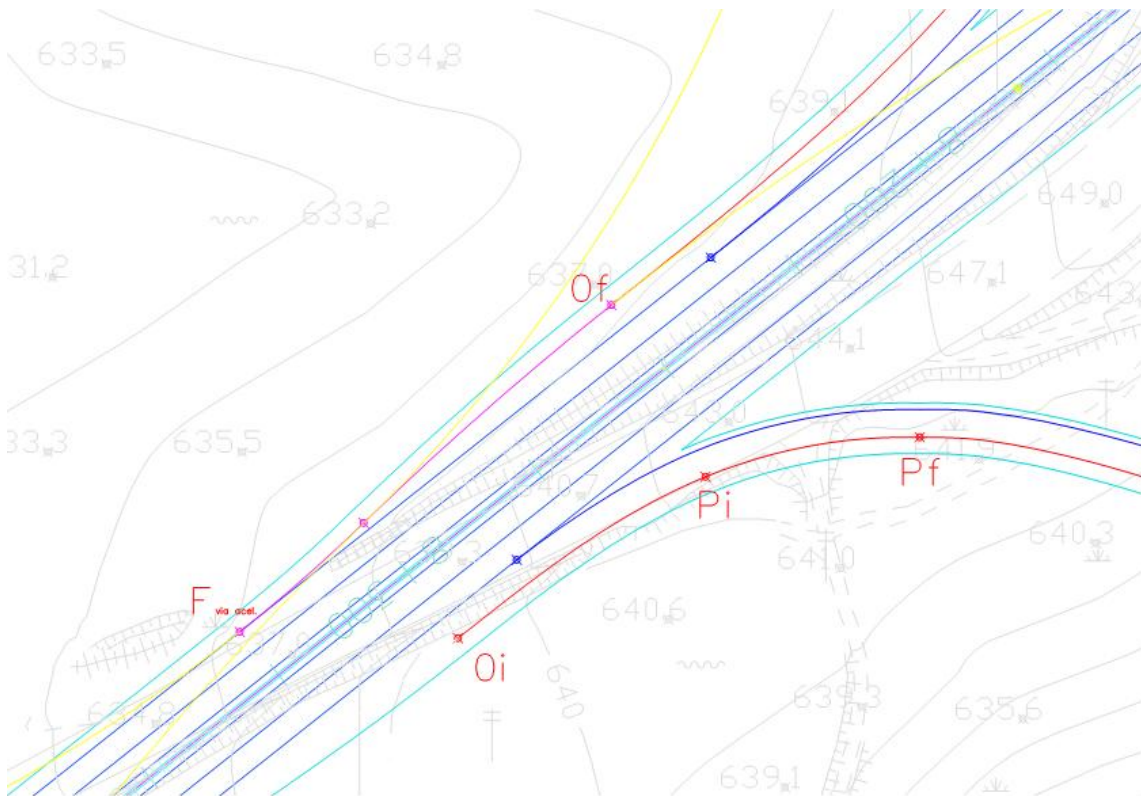


Fig.52 – Via de aceleração associada ao Ramo B.

A cor magenta representa a via auxiliar e a amarelo as circunferências auxiliares.

6.4.4.3. Ramo C

O Ramo C é um ramo de continuidade do Ramo C+D logo só terá uma via auxiliar, via essa que é de aceleração para entrada na Estrada Principal.

a) Via de aceleração

- A velocidade mínima do ramo é de 40 Km/h devido ao seu reduzido raio (R=45m);
- A velocidade da Estrada Principal é de 80 Km/h;
- A via de aceleração tem a mesma inclinação longitudinal que a E.P, isto é, de 6%;
- Dada a falta de dados sobre o tráfego considerou-se a E.P como uma estrada de baixa intensidade de tráfego.

Segundo as Normas Espanholas (por interpolação)

para $i < \pm 2\%$

$$\begin{cases} V_{ramo} = 40 \text{ Km/h} \\ V_{E.P} = 80 \text{ Km/h} \end{cases} \xrightarrow{\text{origina}} \begin{cases} \text{"taper"} = 65\text{m} \\ \text{via} + \text{taper} = 110\text{m} \end{cases}$$

factor multiplicativo de correcção de i

$$\begin{cases} i = 6\% \Rightarrow 1,6 \\ \text{rampa} \end{cases} \xrightarrow{\text{logo}} \begin{cases} \text{"taper"} = 65 \times 1,6 = 104\text{m} \\ \text{via} + \text{taper} = 110 \times 1,6 = 176\text{m} \end{cases}$$

- O início da via de aceleração, via+taper, começa no ponto final da clotóide apesar desta, segundo as norma, poder começar no ponto final da curva circular, favorecendo assim a segurança.
- Construção do “taper”

$$l = 3,75\text{m}$$

$$d = 104,00\text{m}$$

$R_1=R_2 \Rightarrow$ neste caso como o “taper” começa e acaba em recta não há necessidade de considerar um raio maior que outro.

$$\theta = 2 \cdot \arctg \frac{l}{d} = 4,589\text{gr}$$

$$R_1 + R_2 = \frac{d}{\sin\theta} \Leftrightarrow \begin{cases} R_1 = 722,004\text{m} \\ R_2 = 722,004\text{m} \end{cases}$$

As listagens das coordenadas do “taper” são apresentadas em Anexo (A.1.5).

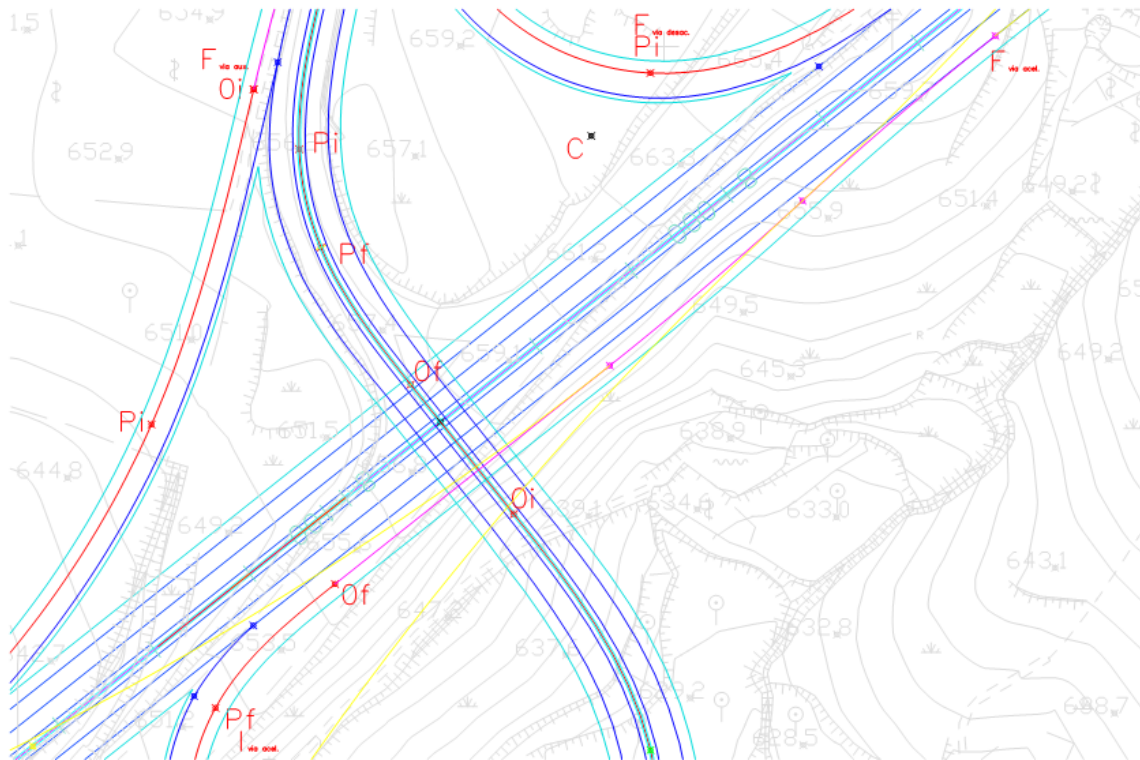


Fig.53 – Via de aceleração associada ao Ramo C.

A cor magenta representa a via auxiliar e a amarelo as circunferências auxiliares.

6.4.4.4. Ramo D

O Ramo D termina no Ramo C+D logo, só apresenta via de abrandamento de entrada no ramo.

a) Via de abrandamento

- Com um raio de 80m o ramo apresenta uma velocidade mínima de 50 Km/h;
- A velocidade da Estrada Principal é de 80 Km/h;
- A via de abrandamento tem 6% de inclinação longitudinal como a E.P.

Segundo as Normas Espanholas

para $i < \pm 2\%$

$$\begin{cases} V_{\text{ramo}} = 50 \text{ Km/h} \\ V_{E.P.} = 80 \text{ Km/h} \end{cases} \xrightarrow{\text{origin a}} \begin{cases} \text{"taper"} = 65\text{m} \\ \text{via} + \text{taper} = 75\text{m} \end{cases}$$

factor multiplicativo de correcção de i

$$\left\{ \begin{array}{l} i = 6\% \Rightarrow 0,8 \\ \text{rampa} \end{array} \right. \xrightarrow{\text{logo}} \left\{ \begin{array}{l} \text{"taper"} = 65 \times 0,8 = 52\text{m} \\ \text{via} + \text{taper} = 75 \times 0,8 = 60\text{m} \end{array} \right.$$

- Por razões estéticas e de segurança considera-se 75m como extensão mínima para o “taper”;
- O final do “taper” é no ponto de entrada da clotóide.
- Construção do “taper”

$$l = 3,75\text{m}$$

$$d = 75,00\text{m}$$

$$2.R_1=R_2$$

$$\theta = 2 \cdot \arctg \frac{l}{d} = 6,361\text{gr}$$

$$R_1 + R_2 = \frac{d}{\sin\theta} \Leftrightarrow \begin{cases} R_1 = 250,625\text{m} \\ R_2 = 501,250\text{m} \end{cases}$$

As listagens das coordenadas do “taper” são apresentadas em Anexo (A.1.6).

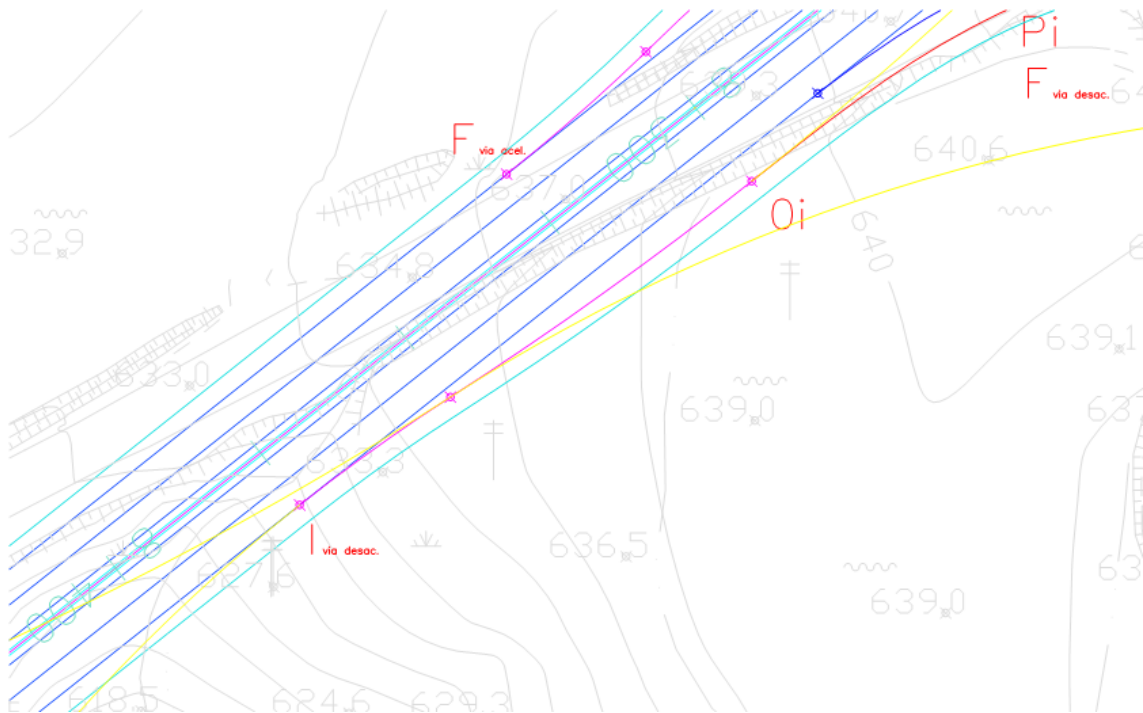


Fig.54 – Via de abrandamento associada ao Ramo D.

A cor magenta representa a via auxiliar e a amarelo as circunferências auxiliares.

6.5. PERFIL LONGITUDINAL

6.5.1. PARTICULARIDADES TEÓRICAS

Para se construir o perfil longitudinal dos ramos tem de se respeitar as cotas nas zonas de confluência com a estrada principal e com a secundária. Para não existirem quebras também têm de se respeitar as sobrelevações existentes. Na zona de “cunha”, como a largura não é constante, as cotas dos pontos projectados para início e fim do ramo não serão colineares, devendo-se fazer uma aproximação. Para isso, determinam-se as cotas de três pontos característicos para cada confluência. Os pontos escolhidos são o inicial/final do ramo, na zona do nariz e outro intermédio. A inclinação longitudinal, assim como a transversal, de início ou fim de ramo também foram respeitadas.

O esquema que explica a forma para determinar a rasante é apresentado em seguida:

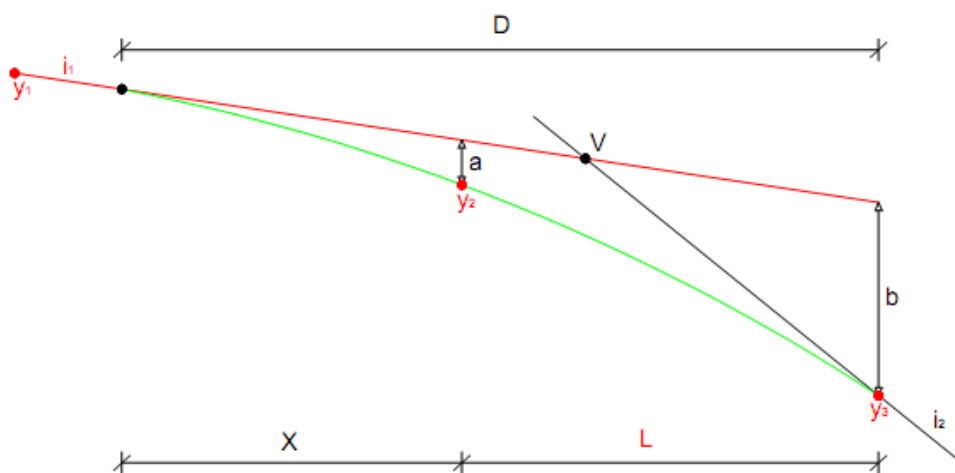


Fig.55 – Esquema de construção de uma concordância a passar por 3 pontos.

A cor vermelha representa os dados conhecidos e a cor verde representa a concordância a determinar.

Sabendo a inclinação do trainel de entrada e as cotas y_1 , y_2 e y_3 determinam-se a i_2 , o desenvolvimento e respectivo raio da concordância através do seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} y_2 = y_1 + i_1 \cdot x \pm \frac{x^2}{2.R} \\ R = \frac{D}{i_1 - i_2} \end{cases} \quad (40)$$

No desenvolvimento do projecto, por vezes as cotas y_2 e y_3 davam num alinhamento muito próximo de uma extensão da inclinação inicial a passar em y_1 . O que acontece é que o valor encontrado para a i_2 dava idêntica à inclinação i_1 o que nos impede de utilizar este sistema. Em alternativa cria-se um trainel que liga o y_2 e y_3 e uma concordância entre o y_1 e y_2 .

O perfil longitudinal do terreno é tirado sobre o eixo ou bordos direitos que geometrizam os ramos através de interpolações de pontos conhecidos do terreno.

A listagem dos pontos tirados no terreno é apresentada em Anexo (Anexo A.3).

6.5.2. RASANTE DOS RAMOS DE LIGAÇÃO

6.5.2.1. Ramo C+D

a) Condicionantes

Uma vez que o início do ramo vai coincidir com a estrada já existente a inclinação longitudinal tem de ser igual para não existir descontinuidade no perfil. O valor da inclinação encontrada, por interpolação de pontos já conhecidos foi:

$$i = 1,722\%$$

Como o ramo se vai cruzar inferiormente com a E.P as suas rasantes têm de respeitar um desnível mínimo. A altura útil tem de ser de 5m livres, aumentando 1m referente à espessura da laje da obra de arte.

Como se pode verificar em planta tanto a E.P como o ramo encontram-se em recta logo o ponto mais desfavorável é a intersecção entre a berma direita (no sentido crescente da quilometragem) da E.P e o eixo do ramo:

- Cota do eixo da E.P (Km 8+075,000) = 657,440m
- Cota da berma direita da E.P = $657,440 - 11,300 \times 2,5/100 = 657,157\text{m}$
- Cota do eixo do Ramo C+D = $657,157 - 6,000 = 651,157\text{m}$

b) Definição da rasante

- A inclinação mínima permitida nas normas devido à drenagem é de 0,5%, logo será a inclinação dada ao quarto trainel que se cruza com a E.P

$$i_4 = -0,5\%$$

- O raio da curva circular em planta é de 60m logo, segundo as normas, a $V_p=45$ Km/h:

$$V_p = 45 \text{ Km/h} \Rightarrow \text{DVP} = 50 \quad (\text{Quadro 18}) \text{ (por interpolação)}$$

$$R \geq 50^2/4 = 625\text{m} \Rightarrow R = 650\text{m} \quad (\text{fórmula 36})$$

- Devido à intersecção do Ramo A com este, após várias tentativas foi necessário criar dois traineis intermédios ligados por uma concordância. O objectivo foi elevar ao máximo este troço do ramo para diminuir as diferenças de cotas com o início do Ramo A. As inclinações e concordância obtidas foram:

$$i_2 = -0,5\%$$

$$R = -700\text{m}$$

$$d_1 = 700 \cdot (1,722 - 0,5) / 100 = 8,554\text{m}$$

A primeira concordância começa no ponto inicial do ramo.

$$i_3 = - 8,0\%$$

$$R = 700\text{m}$$

$$d_2 = 700.(8,0-0,5)/100 = 52,5\text{m}$$

$$i_4 = - 0,5\%$$

$$R = -650\text{m}$$

$$d_3 = 650.(8,0-0,5)/100 = 48,750\text{m}$$

Após se cruzar com a E.P o trainel vai manter a sua inclinação de -0,5 até ao final do ramo. Ainda foram testadas outras soluções possíveis para favorecer os ramos C e D que ligam com estes mas todas elas ao beneficiarem um ramo prejudicavam o outro, mantendo-se então esta inclinação.

Em anexo apresenta-se o perfil longitudinal do Ramo C+D e a listagem dos seus pontos (A.4 e A.2.2).

6.5.2.2. Ramo A

a) Condicionantes

I. Entrada do ramo

- O Ramo A tem início no final do “taper” da via de abrandamento, isto é, no ponto inicial da clotóide;
- A inclinação e Se do ponto inicial são iguais à da estrada principal.

$$Se=2,5\% ; i_1=-6,0\%$$

- Pontos notáveis

Ponto inicial

$$H (\text{Km } 0+000,000) = H_{E.P} (\text{Km } 7+928,367) - Se \times l$$

$$H (\text{Km } 0+000,000) = 666,235 - 2,5/100 \times 12,550 = 665,921\text{m}$$

Ponto intermédio

$$H (\text{Km } 0+022,220) = 664,888 - 2,5/100 \times 13,074 = 664,561\text{m}$$

“Nariz” do ramo

Como as possíveis inclinações e cotas entre a entrada e saída do ramo são muito diferentes tem de se baixar o ponto de “nariz” da entrada para que a inclinação de entrada seja maior pois só assim se conseguirá cumprir os raios mínimos para a concordância intermédia. Isto é conseguido através duma variação da sobrelevação entre a E.P e o ramo. A variação da sobrelevação vai ser feita desde o ponto de intersecção da berma direita da E.P e a esquerda do ramo até ao nariz do ramo.

$$V = 40 \text{ Km/h} \Rightarrow \Delta Se_{\text{máx}} = 4,7\%/20\text{m} \quad (\text{Quadro 8})$$

$$\begin{cases} Se_{\text{“nariz”}} = 4,5\% \\ Se_{E.P} = 2,5\% \end{cases} \Rightarrow \Delta Se = 2\%/24,746\text{m} = 1,616\%/20\text{m} < \Delta Se_{\text{máx}}$$

A diferença entre inclinações transversais é de 2% logo cumpre a norma pois esta permite uma diferença de 5% (Quadro 9).

A mudança de inclinação é feita por uma linha intermédia entre as bermas.

$$H (\text{Km } 0+044,440) = 663,492 - 2,5/100 \times 11,300 - 4,5/100 \times 5,589 = 662,958\text{m}$$

II. Saída do ramo

- O Ramo A termina no início do “taper” da via de aceleração, isto é, no ponto final da clotóide;
- A Se do ponto final é igual à do Ramo C+D

$$Se=2,5\%$$

- Pontos notáveis

Ponto final

$$H (\text{Km } 0+180,215) = 659,365 - 2,5/100 \times 8,800 = 659,145\text{m}$$

Ponto intermédio

$$H (\text{Km } 0+160,977) = H_{\text{Ramo C+D}} (\text{Km } 0+072,857) - Se \times l$$

Como se intersecta em concordância

$$y_2 = y_1 + i \cdot x \pm \frac{x^2}{2 \cdot R}$$

$$H_{\text{Ramo C+D}} (\text{Km } 0+072,857) = 659,349 - 16,128 \times 0,5/100 - 16,128^2 / (2 \times 700) = 659,083\text{m}$$

$$H (\text{Km } 0+160,977) = 659,083 - 2,5/100 \times 9,400 = 658,848\text{m}$$

“Nariz” do ramo

Pela mesma razão que na entrada do ramo, na saída tem de se elevar o ponto do “nariz”. Para isso também se usa uma variação da sobrelevação entre os dois ramos. Os valores utilizados são os seguintes:

$$V = 40 \text{ Km/h} \Rightarrow \Delta Se_{\text{máx}} = 4,7\%/20\text{m}$$

$$\begin{cases} Se_{\text{“nariz”}} = -1,5\% \\ Se_{\text{Ramo C+D}} = 2,5\% \end{cases} \Rightarrow \Delta Se = 3,5\%/17,033\text{m} = 4,697\%/20\text{m} < \Delta Se_{\text{máx}}$$

A diferença entre inclinações transversais é de 3,5% logo cumpre a norma pois esta permite uma diferença de 5%.

A mudança de inclinação é feita por uma linha intermédia entre as bermas.

$$H_{\text{Ramo C+D intersecção}} = 659,349 - 37,011 \times 0,5/100 - 37,011^2 / (2 \times 700) = 658,186\text{m}$$

$$H (\text{Km } 0+141,740) = 658,186 - 2,5/100 \times 7,800 + 1,5/100 \times 6,044 = 658,082\text{m}$$

b) Definição da rasante

Para se criarem as concordâncias de entradas e saída do ramo foi-se obrigado a criar descontinuidades nos traineis de entrada. Apesar da norma não se referir a essas descontinuidades refere-se no perfil transversal à diferença de inclinação entre o bordo exterior e o eixo (Δi), logo consideramos que um valor para o perfil longitudinal inferior a 0,5% não será sentido por parte do condutor.

- Criou-se um trainel inicial com inclinação de -6,121%. Este cria uma descontinuidade com a inclinação longitudinal da E.P que é de 6,00% mas como a diferença é pequena (0,121%) não compromete a segurança ou comodidade do condutor. Esta inclinação foi feita para se ligar o ponto inicial e intermédio para se conseguir fazer uma concordância que cumpra os raios mínimos regulamentares.

$$i_1 = -6,121\%$$

- O segundo trainel intersecta o “nariz” do ramo e tem uma inclinação de -9,6%. Apesar deste valor estar próximo do máximo regulamentar teve de se usar para ser possível criar as concordâncias que vão aparecer de seguida.

$$i_2 = - 9,6\%$$

- Considerando o raio como o mínimo aceitável para a velocidade do ramo obtemos a primeira concordância:

$$R = 400\text{m} \Rightarrow d = 400 \times (9,6 - 6,121)/100 = 13,916\text{m}$$

- Como não se conseguiu ligar directamente o declive de 9,6% com a rampa de saída do ramo teve de se criar um trainel e concordância intermédios:

$$i_3 = - 5,1\%$$

$$R = -400\text{m} \Rightarrow d = -400 \times (5,1 - 9,6)/100 = 18,000\text{m}$$

- O trainel 4 liga o “nariz” ao ponto intermédio com uma inclinação de 3,982%.

$$i_4 = 3,982\%$$

- A concordância de ligação entre o trainel 3 e 4 é:

$$R = -400\text{m} \Rightarrow d = -400 \times (3,982 - 5,1)/100 = 36,328\text{m}$$

- O trainel final tem a inclinação longitudinal do Ramo C+D, isto é 0,5%. Contudo não foi possível criar uma concordância que liga-se esse trainel com o 4 a passar pelos pontos notáveis e cumprir os raios mínimos. Teve então de se criar outro trainel intermédio com uma inclinação de 3,650%. Assim fica-se com uma descontinuidade no ponto intermédio de 0,332 que ainda assim é inferior aos 0,5%.

$$i_5 = 3,650\% ; i_6 = 0,5\%$$

$$R = 400\text{m} \Rightarrow d = 400 \times (3,650 - 0,5)/100 = 12,600\text{m}$$

Em anexo apresenta-se o perfil longitudinal do Ramo A e a listagem dos seus pontos (A.4 e A.2.3).

6.5.2.3. Ramo B

a) Condicionantes

I. Entrada do ramo

- O Ramo B tem início no ponto inicial da clotóide;
- A inclinação do ponto inicial é igual ao do Ramo C+D.

$$i_1 = -6,0\%$$

O Ramo B apresentou elevadas dificuldades para cumprir os raios mínimos e pontos notáveis. Teve então de se jogar com as Se do Ramo B e Ramo C+D.

No que se refere ao Ramo C+D, o disfarce da sobreelevação da recta para a curva começa a uma distância de 14,253m do “nariz” do ramo B. Esta vai variar de -2,5% em recta para 4,0% em curva circular. A variação da Sobreelevação utilizada foi a máxima permitida pela norma:

$$\left\{ \begin{array}{l} R = 60m \\ V = 45Km/h \end{array} \right. \xrightarrow{\text{por interpolação}} \Delta Se_{m\acute{a}x} = 4,35\%/20m$$

mas, para se atingir a Se de 4,0% no início da curva circular são precisos:

$$4,35\%/20 = 6,5\%/29,885m$$

logo o disfarce entra 15,632m em curva circular. Apesar de isto não ser vantajoso na segurança e comodidade teve de se fazer para permitir cumprir os pontos notáveis no Ramo B.

- Pontos notáveis

Ponto inicial

No Ramo B a variação da Se começa na intersecção da berma direita do Ramo C+D com a esquerda do Ramo B. Para elevar um pouco o ponto inicial a variação é de:

$$\Delta Se = 4,196\%/20m = 1,387\%/6,610m \Rightarrow Se_{\text{ponto inicial do ramo}} = 2,5 - 1,387 = 1,113\%$$

Neste ponto a Se no Ramo C+D será de:

$$\Delta Se = 4,35\%/20m = 0,128\%/0,587m \Rightarrow Se_{\text{no ramo C+D}} = 2,5 - 0,128 = 2,372\%$$

$$H (\text{Km } 0+000,000) = H_{\text{Ramo C+D}} (\text{Km } 0+144,405) - Se \times l$$

$$H (\text{Km } 0+000,000) = 654,307 - 1,113/100 \times 3,748 - 2,372/100 \times 6,104 = 654,120m$$

A mudança de inclinação é feita por uma linha intermédia entre as bermas.

Ponto intermédio

Do ponto inicial para o ponto intermédio teve de se fazer uma variação da Se mais acentuada, utilizando-se o valor máximo permitido:

$$\Delta Se = 4,35\%/20m = 1,438\%/6,610m \Rightarrow Se_{\text{no ponto intermédio}} = 1,113 + 1,438 = 2,551\%$$

Neste ponto a Se no Ramo C+D será de:

$$\Delta Se = 4,35\%/20m = 1,645\%/7,564m \Rightarrow Se_{\text{no ramo C+D}} = 2,5 - 1,645 = 0,855\%$$

$$H (\text{Km } 0+007,624) = 653,745 - 2,551/100 \times 4,383 - 0,855/100 \times 6,783 = 653,575m$$

“Nariz” do ramo

Do ponto intermédio ao “nariz” do ramo a variação passa a ser mais leve para:

$$\Delta Se = 2,197\%/20m = 0,949\%/8,638m \Rightarrow Se_{\text{no “nariz” do ramo}} = 2,551 + 0,949 = 3,5\%$$

Neste ponto a Se no Ramo C+D será de:

$$\Delta Se = 4,35\%/20m = 3,100\%/14,253m \Rightarrow Se_{\text{no ramo C+D}} = 2,5 - 3,1 = -0,6\%$$

$$H (\text{Km } 0+015,248) = 653,210 - 3,5/100 \times 4,674 + 0,6/100 \times 8,613 = 653,098m$$

A diferença de Se máxima permitida é de 5% logo é maior que a usada ($3,5+0,6=4,1\%$).

Do “nariz” para a frente a Se varia de forma que na curva circular se atinja uma Se de 2,5%

$$\Delta Se = 1\%/56,751m = 0,352\%/20m$$

II. Saída do ramo

- O Ramo B termina no início do “taper” da via de aceleração, isto é, no ponto final da clotóide;
- A Se e inclinação longitudinal do ponto final é igual à da E.P

$$Se=2,5\% ; i_l=-6\%$$

- Pontos notáveis

Ponto final

$$H(\text{Km } 0+204,598) = H_{E,P}(\text{Km } 8+250,531) - Se \times l$$

$$H(\text{Km } 0+204,598) = 646,908 - 2,5/100 \times 12,550 = 646,594m$$

Ponto intermédio

$$H(\text{Km } 0+170,554) = 648,958 - 2,5/100 \times 13,021 = 648,632m$$

“Nariz” do ramo

$$H(\text{Km } 0+136,510) = 651,030 - 2,5/100 \times 16,280 = 650,623m$$

b) Definição da rasante

- Na entrada, cria-se um trainel que liga o “nariz” e o ponto intermédio e uma concordância entre o ponto inicial e intermédio, terminando neste:

$$i_1 = - 8,0\% \text{ (do Ramo C+D)} ; i_2 = - 6,257\%$$

$$d = 7,448\text{m}$$

$$R = \frac{7,448}{(6,257 - 8,0)/100} = 427,309 > R_{min}$$

- Na saída, usa-se o mesmo procedimento que na entrada:

$$i_4 = - 5,848\% ; i_5 = - 6,0\% \text{ (da E.P)}$$

$$d = 6,118\text{m}$$

$$R = \frac{6,118}{(6,0 - 5,848)/100} = 4025\text{m} > R_{min}$$

- Uma vez que os traneis não se cruzam teve de se criar um tranel intermédio e duas concordâncias

$$i_3 = - 1,0\%$$

$$R = -450\text{m} \Rightarrow d = -450 \times (1,0 - 6,257)/100 = 23,657\text{m}$$

$$R = 500\text{m} \Rightarrow d = 500 \times (5,848 - 1,0)/100 = 24,240\text{m}$$

Em anexo apresenta-se o perfil longitudinal do Ramo B e a listagem dos seus pontos (A.4 e A.2.4).

6.5.2.4. Ramo C

a) Condicionantes

I. Entrada do ramo

- O Ramo C tem início no final do Ramo C+D;
- A inclinação é a mesma do final do ramo assim como a Se para não existir descontinuidade.

$$i_i = -0,5\% ; Se = 5\%$$

$$H (\text{Km } 0+000,000) = H_{\text{Ramo C+D}} (\text{Km } 0+382,040) - Se \times l$$

$$H (\text{Km } 0+000,000) = 650,288 - 5/100 \times 6,0 = 649,988\text{m}$$

II. Saída do ramo

- O Ramo C termina no ponto final da clotóide;
- A Se até ao nariz é igual à da E.P e o ponto final tem a mesma inclinação que essa.

$$i_i = 6,0\% ; Se = 2,5\%$$

- Pontos notáveis

Ponto final

$$H (\text{Km } 0+139,573) = H_{\text{E.P}} (\text{Km } 8+112,614) - Se \times l$$

$$H (\text{Km } 0+139,573) = 655,183 - 2,5/100 \times 12,550 = 654,869\text{m}$$

Ponto intermédio

$$H (\text{Km } 0+122,240) = H_{\text{E.P}} (\text{Km } 8+129,931) - Se \times l$$

$$H (\text{Km } 0+122,240) = 654,144 - 2,5/100 \times 13,099 = 653,817\text{m}$$

“Nariz” do ramo

$$H(\text{Km } 0+104,907) = H_{E,P}(\text{Km } 8+148,964) - S_e \times l$$

$$H(\text{Km } 0+104,907) = 653,002 - 2,5/100 \times 17,267 = 652,570\text{m}$$

b) Definição da rasante

- Cria-se um trainel com 7,5% de inclinação a passar no “nariz” do ramo.

$$i_2 = 7,5\%$$

- Cria-se outro trainel que ligue o ponto intermédio ao ponto final do ramo e fica com uma inclinação de:

$$i_3 = 6,071\%$$

Vai existir uma descontinuidade entre o trainel 3 e a via de aceleração da E.P de 0,071%. Esta descontinuidade foi necessária para que se conseguisse criar uma concordância que cumprisse o raio mínimo e os pontos notáveis. A concordância criada foi:

$$d = 7,414\text{m}$$

$$R = \frac{7,414}{(7,5 - 6,071)/100} = 518,824\text{m} > R_{min} = 400\text{m}$$

- O trainel inicial é um prolongamento do final do Ramo C+D logo tem uma inclinação de -0,5%. A concordância resultante foi:

$$i_1 = 0,5\%$$

$$R = -700\text{m} \Rightarrow d = -700 \times (0,5 + 7,5)/100 = 56,000\text{m}$$

Em anexo apresenta-se o perfil longitudinal do Ramo C e a listagem dos seus pontos (A.4 e A.2.5).

6.5.2.5. Ramo D

a) Condicionantes

I. Entrada do ramo

- O Ramo D tem início no final do “taper” de abrandamento, isto é, no ponto inicial da clotóide;
- A Se até ao nariz é igual à da E.P e o ponto inicial tem a mesma inclinação que essa.

$$i_1 = 6,0\% ; Se = 2,5\%$$

- Pontos notáveis

Ponto inicial

$$H(\text{Km } 0+000,000) = H_{E,P}(\text{Km } 8+300,227) - Se \times l$$

$$H(\text{Km } 0+000,000) = 643,926 - 2,5/100 \times 12,550 = 643,612\text{m}$$

Ponto intermédio

$$H(\text{Km } 0+021,648) = 645,236 - 2,5/100 \times 13,033 = 644,910\text{m}$$

“Nariz” do ramo

$$H(\text{Km } 0+043,297) = 646,589 - 2,5/100 \times 16,482 = 646,177\text{m}$$

II. Saída do ramo

- O Ramo C termina na intersecção com o Ramo C+D;
- A inclinação é a mesma do final do ramo assim como a Se para não existir descontinuidade.

$$i_1 = 0,5\% ; Se = 5\%$$

$$H(\text{Km } 0+185,879) = H_{\text{Ramo C+D}}(\text{Km } 0+382,040) + Se \times l$$

$$H(\text{Km } 0+185,879) = 650,288 + 5/100 \times 6,0 = 650,588\text{m}$$

b) Definição da rasante

- Cria-se um trainel que ligue o ponto intermédio ao “nariz” do ramo e fica com uma inclinação de:

$$i_2 = 5,852\%$$

- Intersecta-se esse trainel com o inicial que vem da E.P e cria-se uma concordância:

$$i_1 = 6,0\%$$

$$d=1,6\text{m}$$

$$R = \frac{1,6}{(6,0 - 5,852)/100} = 1081,081\text{m} > R_{min} = 900\text{m} (V = 50\text{Km/h})$$

- Com o trainel 2 e o trainel final que é um prolongamento do Ramo C+D cria-se uma concordância intermédia:

$$i_3 = 0,5\%$$

$$R = 1250\text{m} \Rightarrow d = 1250 \times (5,852 - 0,5)/100 = 66,900\text{m}$$

Em anexo apresenta-se o perfil longitudinal do Ramo D e a listagem dos seus pontos (A.4 e A.2.6).

7

CONCLUSÃO

O dimensionamento de um Nó de Ligação é um trabalho demorado e pormenorizado. A sua qualidade depende muito da atenção que se lhe atribui assim como da experiência e saber de quem o executa. Uma solução de qualidade é aquela que é económica e ao mesmo tempo serve com qualidade os seus utentes.

Apesar de todas as dificuldades encontradas no desenvolvimento deste trabalho, com empenho e dedicação todas os obstáculos foram ultrapassados e cumpridos os objectivos inicialmente propostos de elaboração de um projecto de um Nó de Ligação em Trompa. Organizou-se ainda uma base teórica genérica que poderá servir como base de estudo para o desenvolvimento de futuros projectos desta natureza.

BIBLIOGRAFIA

- França, A. (1995). *Sebenta de Vias de Comunicação 1*. Faculdade de Engenharia, Porto.
- França, A. (1995). *Sebenta de Vias de Comunicação 2*. Faculdade de Engenharia, Porto.
- França, A. *Tópicos e Resumos de Complementos de Estradas e Aeródromos*. Faculdade de Engenharia, Porto.
- Norma de Intersecções. JAE P5/90.
- Norma de Nós de Ligação. JAE P6/90.
- Normas de Traçado. JAE, 1992.

ANEXOS

A1. DEFINIÇÃO NUMÉRICA DO TRAÇADO EM PLANTA

A.1.1. ESTRADA PRINCIPAL

Apenas se apresenta dados sobre a zona de influência do nó de ligação.

- Velocidade específica do troço:

$$V=80\text{Km/h}$$

- Largura de cada via:

$$L=3,75 (2 \times 2 \text{ vias} + \text{ vias auxiliares})$$

- Bermas:

$$\text{Direita} - 2,5\text{m} ; \text{Esquerda} - 1,0\text{m}$$

- Separador:

$$\text{New Jersey} - 0,6\text{m}$$

- Elementos característicos da directriz:

$$\text{Desenvolvimento "d"} = 650,000\text{m}$$

$$\text{Azimute "Az"} = 242,776\text{gr}$$

Quadro 19 – Estrada principal – Ponto inicial e final.

	Km	M	P
Início	7+750,000	90608,512	195725,258
Fim	8+400,000	90099,803	195320,640

- Listagem das coordenadas da directriz:

Quadro 20 – Estrada principal – Listagem das coordenadas da directriz.

Km	M	P
7+750,000	90608,512	195725,258
7+775,000	90119,369	195336,202
7+800,000	90569,380	195694,133
7+825,000	90549,815	195678,571
7+850,000	90530,249	195663,009
7+875,000	90510,683	195647,447
7+900,000	90491,117	195631,884
7+925,000	90471,552	195616,322
7+950,000	90451,986	195600,760

7+975,000	90432,420	195585,198
8+000,000	90412,855	195569,636
8+025,000	90393,289	195554,073
8+050,000	90373,723	195538,511
8+075,000	90354,157	195522,949
8+100,000	90334,592	195507,387
8+125,000	90315,026	195491,824
8+150,000	90295,460	195476,262
8+175,000	90275,895	195460,700
8+200,000	90256,345	195445,118
8+225,000	90236,763	195429,575
8+250,000	90217,197	195414,013
8+275,000	90197,632	195398,451
8+300,000	90178,082	195382,869
8+325,000	90158,500	195367,327
8+350,000	90138,935	195351,764
8+375,000	90119,369	195336,202
8+400,000	90099,803	195320,640

- Listagem das coordenadas relacionadas com o aumento de 1 via para 2 vias:

Raio 1 “ R_1 ” = 500m

Raio 2 “ R_2 ” = 500m

Quadro 21 – Estrada principal – Listagem das coordenadas relacionadas com o aumento de 1 para 2 vias.

	M	P
Ponto inicial (a=3,75m)	90615,144	195735,326
Centro da curva R_1	90304,321	196126,975
Ponto final (a=7,5m)	90533,875	195677,137
Centro da curva R_2	90845,120	195285,823

A.1.2. RAMO C+D

- Velocidade específica do ramo:
 $V=45\text{Km/h}$
- Largura de cada via:
 $L=4,00\text{m}$ - recta (1×1 vias) ;
 $L=4,00+0,8=4,8\text{m}$ - primeira curva;
 $L=4,00+1,0=5,0\text{m}$ – curva final;
- Bermas:
Direita – 2,5m ; Esquerda – 1,0m
- Separador:
New Jersey – 0,6m
- Elementos característicos da directriz:

Alinhamento recto 1

Desenvolvimento “d” = 121,449m

Azimute “Az” = 284,984gr

Quadro 22 – Ramo C+D – Alinhamento recto 1.

	Km	M	P
Início	0+000,000	90358,340	195730,321
Fim	0+121,449	90329,958	195612,235

Clotóide 1

Parâmetro “A” = 45,000m

Desenvolvimento “d” = 33,750m

Quadro 23 – Ramo C+D – Clotóide 1.

	Km	M	P	Az	Raio
Início	0+121,449	90329,958	195612,235	284,984	∞
Fim	0+155,199	90325,162	195578,950	302,872	60,000

Curva circular 1

Raio "R" = 60,000m

Desenvolvimento "d" = 20,761m

Centro da curva "c": M= 90385,099

P= 195581,656

Quadro 24 – Ramo C+D – Curva circular 1.

	Km	M	P	Az
Início	0+155,199	90325,162	195578,950	302,872
Fim	0+175,960	90329,632	195558,782	324,901

Clotóide 2

Parâmetro "A" = 45,000m

Desenvolvimento "d" = 33,750m

Quadro 25 – Ramo C+D – Clotóide 2.

	Km	M	P	Az	Raio
Início	0+175,960	90329,632	195558,782	324,901	60,000
Fim	0+209,710	90348,041	195530,639	302,872	∞

Alinhamento recto 2

Desenvolvimento "d" = 33,998m

Azimute "Az" = 342,776gr

Quadro 26 – Ramo C+D – Alinhamento recto 2.

	Km	M	P
Início	0+209,710	90348,041	195530,639
Fim	0+243,708	90369,205	195504,031

Clotóide 3

Parâmetro "A" = 60,000m

Desenvolvimento "d" = 67,862m

Quadro 27 – Ramo C+D – Clotóide 3.

	Km	M	P	Az	Raio
Início	0+243,708	90369,205	195504,031	342,776	∞
Fim	0+313,881	90398,727	195441,950	299,232	51,300

Curva circular 2

Raio “R” = 51,300m

Desenvolvimento “d” = 67,862m

Centro da curva “c”: M= 90347,431

P= 195442,569

Quadro 28 – Ramo C+D – Curva circular 1.

	Km	M	P	Az
Início	0+313,881	90398,727	195441,950	299,232
Fim	0+381,742	90359,420	195392,689	215,017

- Listagem das coordenadas da directriz:

Quadro 29 – Ramo C+D – Listagem das coordenadas da directriz.

Km	M	P
0+000,000	90358,340	195730,321
0+025,000	90352,498	195706,013
0+050,000	90346,655	195681,705
0+075,000	90340,816	195657,397
0+100,000	90334,970	195633,090
0+125,000	90329,133	195608,781
0+150,000	90325,185	195584,139
0+175,000	90329,310	195559,579
0+200,000	90342,063	195538,282
0+225,000	90357,563	195518,667
0+250,000	90373,114	195499,092
0+275,000	90387,497	195478,669
0+300,000	90397,199	195455,733
0+325,000	90397,394	195430,932
0+350,000	90385,961	195408,699
0+375,000	90365,378	195394,510
0+381,743	90359,420	195392,689

A.1.3. RAMO A

- Velocidade específica do ramo:

$$V = 40 \text{ Km/h}$$

- Largura da via:

$$L = 4,00 + 1,25 = 5,25 \text{ m}$$

- Bermas:

Direita – 2,5m ; Esquerda – 1,0m

- Elementos característicos da directriz:

Clotóide 1

Parâmetro “A” = 60,000m

Desenvolvimento “d” = 72,000m

Quadro 30 – Ramo A – Clotóide 1.

	Km	M	P	Az	Raio
Início	0+000,000	90461,109	195624,043	242,776	∞
Fim	0+072,000	90397,197	195594,584	196,939	50

Curva circular 1

Raio “R” = 50,000m

Desenvolvimento “d” = 67,680m

Centro da curva “c”: M= 90399,600

P= 195644,526

Quadro 31 – Ramo A – Curva circular 1.

	Km	M	P	Az
Início	0+072,000	90397,197	195594,584	196,939
Fim	0+139,680	90350,313	195636,110	110,767

Clotóide 2

Parâmetro “A” = 45,000m

Desenvolvimento “d” = 40,500m

Quadro 32 – Ramo A – Clotóide 2.

	Km	M	P	Az	Raio
Início	0+139,680	90350,313	195636,110	110,767	50
Fim	0+180,180	90354,362	195676,113	084,984	∞

- Listagem das coordenadas da directriz:

Quadro 33 – Ramo A – Listagem das coordenadas da directriz.

Km	M	P
0+000,000	90461,109	195624,043
0+025,000	90441,084	195609,094
0+050,000	90418,863	195597,797
0+075,000	90394,239	195594,815
0+100,000	90370,844	195603,622
0+125,000	90354,635	195622,659
0+150,000	90349,566	195646,388
0+175,000	90353,167	195671,073
0+180,180	90354,362	195676,113

- Listagem das coordenadas do “taper” da via de abrandamento:

Raio 1 “R₁” = 360,625mRaio 2 “R₂” = 721,250m

Quadro 34 – Ramo A – Listagem das coordenadas do “taper” da via de abrandamento.

	M	P
Ponto inicial (a=0,0m)	90533,875	195677,137
Centro da curva R1	90311,733	195956,017
Ponto final (a=3,75m)	90461,109	195624,043
Centro da curva R2	90910,079	195059,572

- Listagem das coordenadas do “taper” da via de aceleração:

Raio 1 “ R_1 ” = 194,024m

Raio 2 “ R_2 ” = 97,012m

Quadro 35 – Ramo A – Listagem das coordenadas do “taper” da via de aceleração.

	M	P
Ponto inicial (a=3,50m)	90354,362	195676,113
Centro da curva R1	90165,710	195721,456
Ponto final (a=0,0m)	90361,475	195720,685
Centro da curva R2	90455,801	195698,013

A.1.4. RAMO B

- Velocidade específica do ramo:

$$V = 70 \text{ Km/h}$$

- Largura da via:

$$L = 4,00 + 0,00 = 4,00 \text{ m}$$

- Bermas:

Direita – 2,5m ; Esquerda – 1,0m

- Elementos característicos da directriz:

Clotóide 1

Parâmetro “A” = 120,000m

Desenvolvimento “d” = 72,000m

Quadro 36 – Ramo B – Clotóide 1.

	Km	M	P	Az	Raio
Início	0+000,000	90315,860	195591,234	284,984	∞
Fim	0+072,000	90294,896	195522,462	273,524	200

Curva circular 1

Raio “R” = 200,000m

Desenvolvimento “d” = 60,600m

Centro da curva “c”: M= 90111,944

P= 195603,261

Quadro 37 – Ramo B – Curva circular 1.

	Km	M	P	Az
Início	0+072,000	90294,896	195522,462	273,524
Fim	0+132,600	90262,453	195471,553	254,235

Clotóide 2

Parâmetro “A” = 120,000m

Desenvolvimento “d” = 72,000m

Quadro 38 – Ramo B – Clotóide 2.

	Km	M	P	Az	Raio
Início	0+132,600	90262,453	195471,553	254,235	200
Fim	0+204,600	90208,970	195423,505	242,776	∞

- Listagem das coordenadas da directriz:

Quadro 39 – Ramo B – Listagem das coordenadas da directriz.

Km	M	P
0+000,000	90315,860	195591,234
0+025,000	90309,831	195566,973
0+050,000	90302,774	195542,995
0+075,000	90293,663	195519,726
0+100,000	90281,823	195497,710
0+125,000	90267,326	195477,340
0+150,000	90250,467	195458,946
0+175,000	90231,942	195442,167
0+200,000	90212,567	195426,370
0+204,600	90208,970	195423,505

- Listagem das coordenadas do “taper” da via de entrada no ramo:

Raio 1 “R₁” = 268,440m

Raio 2 “R₂” = 536,880m

Quadro 40 – Ramo B – Listagem das coordenadas do “taper” da via de entrada no ramo.

	M	P
Ponto inicial (a=0,0m)	90336,790	195663,340
Centro da curva R1	90075,783	195726,073
Ponto final (a=3,75m)	90315,860	195591,234
Centro da curva R2	90837,873	195465,767

- Listagem das coordenadas do “taper” da via de aceleração:

Raio 1 “ R_1 ” = 501,250m

Raio 2 “ R_2 ” = 250,625m

Quadro 41 – Ramo B – Listagem das coordenadas do “taper” da via de aceleração.

	M	P
Ponto inicial (a=3,75m)	90208,970	195423,505
Centro da curva R1	90520,992	195031,212
Ponto final (a=0,0m)	90152,607	195373,883
Centro da curva R2	89996,596	195570,029

A.1.5. RAMO C

- Velocidade específica do ramo:

$$V = 40 \text{ Km/h}$$

- Largura da via:

$$L = 4,00 + 1,00 = 5,00 \text{ m}$$

- Bermas:

$$\text{Direita} - 2,5 \text{ m} ; \text{Esquerda} - 1,0 \text{ m}$$

- Elementos característicos da directriz:

Curva circular 1

$$\text{Raio "R"} = 45,000 \text{ m}$$

$$\text{Desenvolvimento "d"} = 103,972 \text{ m}$$

$$\text{Centro da curva "c": M} = 90347,431$$

$$P = 195442,569$$

Quadro 42 – Ramo C – Curva circular 1.

	Km	M	P	Az
Início	0+000,000	90357,948	195398,815	215,017
Fim	0+103,972	90308,022	195464,293	067,926

Clotóide 1

$$\text{Parâmetro "A"} = 40,000 \text{ m}$$

$$\text{Desenvolvimento "d"} = 35,556 \text{ m}$$

Quadro 43 – Ramo C – Clotóide 1.

	Km	M	P	Az	Raio
Início	0+103,972	90308,022	195464,293	067,926	45
Fim	0+139,528	90332,532	195489,713	042,776	∞

- Listagem das coordenadas da directriz:

Quadro 44 – Ramo C – Listagem das coordenadas da directriz.

Km	M	P
0+000,000	90357,948	195398,815
0+025,000	90332,974	195399,954
0+050,000	90312,462	195414,246
0+075,000	90302,743	195437,280
0+100,000	90306,817	195461,946
0+125,000	90321,369	195480,419
0+139,528	90332,532	195489,713

- Listagem das coordenadas da via de aceleração:

Raio 1 do “taper” “ R_1 ” = 722,004m

Raio 2 do “taper” “ R_2 ” = 722,004m

Quadro 45 – Ramo C – Listagem das coordenadas da via de aceleração.

		M	P
Via paralela	Ponto inicial (a=3,75m)	90332,532	195489,713
	Ponto final (a=3,75m)	90388,881	195534,532
"Taper"	Ponto inicial (a=3,75m)	90388,881	195534,532
	Centro da curva R1	89939,441	196099,593
	Ponto final (a=0,00m)	90467,940	195602,206
	Centro da curva R2	90917,380	195037,145

A.1.6. RAMO D

- Velocidade específica do ramo:
 $V = 50\text{Km/h}$ ($R=80\text{m}$) ; $V = 45\text{Km/h}$ (Ponto de saída)
- Largura da via:
 $L = 4,00+0,20 = 4,20\text{m}$ (em curva circular)
 $L = 4,00+1,00 = 5,00\text{m}$ (no ponto de saída)
- Bermas:
Direita – 2,5m ; Esquerda – 1,0m
- Elementos característicos da directriz:

Clotóide 1

Parâmetro “A” = 60,000m

Desenvolvimento “d” = 45,000m

Quadro 46 – Ramo D – Clotóide 1.

	Km	M	P	Az	Raio
Início	0+000,000	90185,701	195372,926	042,776	∞
Fim	0+045,000	90223,255	195397,431	024,871	80

Curva circular 1

Raio “R” = 80,000m

Desenvolvimento “d” = 33,285m

Centro da curva “c”: M= 90253,720

P= 195323,459

Quadro 47 – Ramo D – Curva circular 1.

	Km	M	P	Az
Início	0+045,000	90223,255	195397,431	024,871
Fim	0+078,285	90255,750	195403,433	398,384

Clotóide 2

Parâmetro “A” = 60,000m

Desenvolvimento “d” = 45,000m

Quadro 48 – Ramo D – Clotóide 2.

	Km	M	P	Az	Raio
Início	0+078,285	90255,750	195403,433	398,384	80
Fim	0+123,285	90299,689	195394,303	380,479	∞

Clotóide 3

Parâmetro “A” = 60,000m

Desenvolvimento “d” = 62,500m

Quadro 49 – Ramo D – Clotóide 3.

	Km	M	P	Az	Raio
Início	0+123,285	90299,689	195394,303	380,479	∞
Fim	0+185,785	90360,892	195386,564	015,017	57,6

- Listagem das coordenadas da directriz:

Quadro 50 – Ramo D – Listagem das coordenadas da directriz.

Km	M	P
0+000,000	90185,701	195372,926
0+025,000	90205,712	195387,896
0+050,000	90227,935	195399,190
0+075,000	90252,569	195403,451
0+100,000	90277,238	195400,779
0+125,000	90301,241	195393,814
0+150,000	90325,320	195387,134
0+175,000	90350,147	195384,963
0+185,785	90360,892	195386,564

- Listagem das coordenadas do “taper” da via de abrandamento:

Raio 1 “ R_1 ” = 250,625m

Raio 2 “ R_2 ” = 501,250m

Quadro 51 – Ramo D – Listagem das coordenadas do “taper” da via de abrandamento.

	M	P
Ponto inicial (a=0,0m)	90124,669	195329,174
Centro da curva R1	90280,681	195133,028
Ponto final (a=3,75m)	90185,701	195372,926
Centro da curva R2	89873,678	195765,218

A2. DEFINIÇÃO NUMÉRICA DA RASANTE

A.2.1. ESTRADA PRINCIPAL

Apenas se apresenta dados sobre a zona de influência do nó de ligação.

- Velocidade específica do troço:

$$V=80\text{Km/h}$$

- Elementos característicos da rasante:

Trainel 1

Inclinação “i” = -6%

Desenvolvimento “d” = 650,000m

Quadro 52 – Estrada Principal – Trainel 1.

	Km	Cota
Início	7+750,000	676,940
Fim	8+400,000	637,940

- Listagem das cotas da rasante:

Quadro 53 – Estrada Principal – Listagem das cotas da rasante.

Km	Cota
7+750,000	676,940
7+775,000	675,440
7+800,000	673,940
7+825,000	672,440
7+850,000	670,940
7+875,000	669,440
7+900,000	667,940
7+925,000	666,440
7+950,000	664,940
7+975,000	663,440
8+000,000	661,940
8+025,000	660,440
8+050,000	658,940
8+075,000	657,440

8+100,000	655,940
8+125,000	654,440
8+150,000	652,940
8+175,000	651,440
8+200,000	649,940
8+225,000	648,440
8+250,000	646,940
8+275,000	645,440
8+300,000	643,940
8+325,000	642,440
8+350,000	640,940
8+375,000	639,440
8+400,000	637,940

A.2.2. RAMO C+D

- Velocidade específica do troço:
 $V=45\text{Km/h}$
- Elementos característicos da rasante:

Concordância Vertical 1

Raio vertical "R" = -700m

Desenvolvimento "d" = 8,554m

Bissetriz "b" = 0,013m

Quadro 54 – Ramo C+D – Concordância vertical 1.

	Km	Cota	i
Início	0+000,000	659.685	-1,722
Fim	0+008,554	659,590	-0,500
Vértice	0+004,277	659,611	-

Trainel 1

Inclinação "i" = -0,500%

Desenvolvimento "d" = 48,175m

Quadro 55 – Ramo C+D – Trainel 1.

	Km	Cota
Início	0+008,554	659,590
Fim	0+056,729	659.349

Concordância Vertical 2

Raio vertical "R" = 700m

Desenvolvimento "d" = 52,500m

Bissetriz "b" = -0,492m

Quadro 56 – Ramo C+D – Concordância vertical 2.

	Km	Cota	i
Início	0+056,729	659.349	-0,500
Fim	0+109,229	657,118	-8,000
Vértice	0+082,979	659,218	-

Trainel 2

Inclinação “i” = -8,000%

Desenvolvimento “d” = 48,505m

Quadro 57 – Ramo C+D – Trainel 2.

	Km	Cota
Início	0+109,229	657,118
Fim	0+157,734	653,238

Concordância Vertical 3

Raio vertical “R” = -650m

Desenvolvimento “d” = 48,750m

Bissetriz “b” = 0,457m

Quadro 58 – Ramo C+D – Concordância vertical 3.

	Km	Cota	i
Início	0+157,734	653,238	-8,000
Fim	0+206,484	651,166	-0,500
Vértice	0+182,109	651,288	-

Trainel 3

Inclinação “i” = -0,500%

Desenvolvimento “d” = 175,259m

Quadro 59 – Ramo C+D – Trainel 3.

	Km	Cota
Início	0+206,484	651,166
Fim	0+381,743	650,293

- Listagem das cotas da rasante:

Quadro 60 – Ramo C+D – Listagem das cotas da rasante.

Km	Cota	i
0+000,000	659.685	-1,722
0+025,000	659.508	-0,500
0+050,000	659.383	-0,500
0+075,000	658.060	-3,078
0+100,000	657.350	-6,827
0+125,000	655.841	-8,000
0+150,000	653.835	-8,000
0+175,000	656.770	-5,419
0+200,000	657.330	-1,667
0+225,000	651.072	-0,500
0+250,000	650.947	-0,500
0+275,000	650.822	-0,500
0+300,000	650.695	-0,500
0+325,000	650.570	-0,500
0+350,000	650.445	-0,500
0+375,000	650.320	-0,500
0+381,743	650.293	-0,500

A.2.3. RAMO A

- Velocidade específica do troço:

$$V=40\text{Km/h}$$

- Pontos notáveis:

Entrada

Quadro 61 – Ramo A – Pontos notáveis da entrada.

Designação	Km	Se	Cota
Ponto inicial	0+000,000	2,5	665,921
Ponto intermédio	0+022,220	2,5	664,561
“Nariz” do ramo	0+044,440	4,5	662,958

Saída

Quadro 62 – Ramo A – Pontos notáveis da saída.

Designação	Km	Se	Cota
Ponto final	0+180,215	2,5	659,145
Ponto intermédio	0+160,977	2,5	658,848
“Nariz” do ramo	0+141,740	-1,5	658,082

- Elementos característicos da rasante:

Trainel 1

Inclinação “i” = -6,121%

Desenvolvimento “d” = 30,498m

Quadro 63 – Ramo A – Trainel 1.

	Km	Cota
Início	0+000,000	665,921
Fim	0+030,498	664,054

Concordância Vertical 1

Raio vertical “R” = 400m

Desenvolvimento “d” = 13,916m

Bissetriz “b” = -0,061m

Quadro 64 – Ramo A – Concordância vertical 1.

	Km	Cota	i
Início	0+030,498	664,054	-6,121
Fim	0+044,414	662,961	-9,600
Vértice	0+037,456	663,629	-

Trainel 2

Inclinação “i” = -9,600%

Desenvolvimento “d” = 36,151m

Quadro 65 – Ramo A – Trainel 2.

	Km	Cota
Início	0+044,414	662,961
Fim	0+080,565	659,490

Concordância Vertical 2

Raio vertical “R” = -400m

Desenvolvimento “d” = 18,000m

Bissetriz “b” = 0,101m

Quadro 66 – Ramo A – Concordância vertical 2.

	Km	Cota	i
Início	0+080,565	659,490	-9,600
Fim	0+098,565	658,167	-5,100
Vértice	0+089,565	658,626	-

Trainel 3

Inclinação “i” = -5,100%

Desenvolvimento “d” = 1,702m

Quadro 67 – Ramo A – Trainel 3.

	Km	Cota
Início	0+098,565	658,167
Fim	0+100,267	658,080

Concordância Vertical 3

Raio vertical “R” = -400m

Desenvolvimento “d” = 36,328m

Bissetriz “b” = 0,412m

Quadro 68 – Ramo A – Concordância vertical 3.

	Km	Cota	i
Início	0+100,267	658,080	-5,100
Fim	0+136,595	657,877	3,982
Vértice	0+118,431	657,154	-

Trainel 4

Inclinação “i” = 3,982%

Desenvolvimento “d” = 24,457m

Quadro 69 – Ramo A – Trainel 4.

	Km	Cota
Início	0+136,595	657,877
Fim	0+161,052	658,851

Concordância Vertical 4

Raio vertical “R” = 400m

Desenvolvimento “d” = 12,600m

Bissetriz “b” = -0,050m

Quadro 70 – Ramo A – Concordância vertical 4.

	Km	Cota	i
Início	0+161,052	658,851	3,982
Fim	0+173,652	659,112	0,500
Vértice	0+167,352	659,102	-

Trainel 5

Inclinação “i” = 0,500%

Desenvolvimento “d” = 6,528m

Quadro 71 – Ramo A – Trainel 5.

	Km	Cota
Início	0+173,652	659,112
Fim	0+180,180	659,145

- Listagem das cotas da rasante:

Quadro 72 – Ramo A – Listagem das cotas da rasante.

Km	Cota	i
0+000,000	665,921	-6,121
0+025,000	664,393	-6,121
0+050,000	662,424	-9,600
0+075,000	660,022	-9,600
0+100,000	658,089	-5,100
0+125,000	657,586	1,144
0+150,000	658,420	3,982
0+175,000	659,119	0,500
0+180,180	659,145	0,500

A.2.4. RAMO B

- Velocidade específica do troço:

$$V=70\text{Km/h}$$

- Pontos notáveis:

Entrada

Quadro 73 – Ramo B – Pontos notáveis da entrada.

Designação	Km	Se	Cota
Ponto inicial	0+000,000	1,113	654,120
Ponto intermédio	0+007,624	2,551	653,575
“Nariz” do ramo	0+015,248	3,500	653,098

Saída

Quadro 74 – Ramo B – Pontos notáveis da saída.

Designação	Km	Se	Cota
Ponto final	0+204,598	2,500	646,594
Ponto intermédio	0+170,554	2,500	648,632
“Nariz” do ramo	0+136,510	2,500	650,623

- Elementos característicos da rasante:

Trainel 1

Inclinação “i” = -8,000%

Desenvolvimento “d” = 0,177m

Quadro 75 – Ramo B – Trainel 1.

	Km	Cota
Início	0+000,000	654,120
Fim	0+000,177	654,106

Concordância Vertical 1

Raio vertical “R” = -427,309m

Desenvolvimento “d” = 7,448m

Bissetriz “b” = 0,004m

Quadro 76 – Ramo B – Concordância vertical 1.

	Km	Cota	i
Início	0+000,177	654,106	-8,000
Fim	0+007,625	653,519	-6,257
Vértice	0+003,901	653,808	-

Trainel 2

Inclinação “i” = -6,257%

Desenvolvimento “d” = 8,733m

Quadro 77 – Ramo B – Trainel 2.

	Km	Cota
Início	0+007,625	653,519
Fim	0+016,358	653,029

Concordância Vertical 2

Raio vertical “R” = -450m

Desenvolvimento “d” = 23,657m

Bissetriz “b” = 0,155m

Quadro 78 – Ramo B – Concordância vertical 2.

	Km	Cota	i
Início	0+016,358	653,029	-6,257
Fim	0+040,015	652,171	-1,000
Vértice	0+028,187	652,289	-

Trainel 3

Inclinação “i” = -1,000%
 Desenvolvimento “d” = 71,726m

Quadro 79 – Ramo B – Trainel 3.

	Km	Cota
Início	0+040,015	652,171
Fim	0+111,741	651,453

Concordância Vertical 3

Raio vertical “R” = 500m
 Desenvolvimento “d” = 24,240m
 Bissetriz “b” = -0,147m

Quadro 80 – Ramo B – Concordância vertical 3.

	Km	Cota	i
Início	0+111,741	651,453	-1,000
Fim	0+135,981	650,623	-5,848
Vértice	0+123,861	651,332	-

Trainel 4

Inclinação “i” = -5,848%
 Desenvolvimento “d” = 34,044m

Quadro 81 – Ramo B – Trainel 4.

	Km	Cota
Início	0+135,981	650,623
Fim	0+170,250	648,632

Concordância Vertical 4

Raio vertical "R" = 4025m

Desenvolvimento "d" = 6,118m

Bissetriz "b" = -0,001m

Quadro 82 – Ramo B – Concordância vertical 4.

	Km	Cota	i
Início	0+170,250	648,632	-5,848
Fim	0+176,143	648,270	-6,000
Vértice	0+173,084	648,453	-

Trainel 5

Inclinação "i" = -6,000%

Desenvolvimento "d" = 28,457m

Quadro 83 – Ramo B – Trainel 5.

	Km	Cota
Início	0+176,143	648,270
Fim	0+204,600	646,570

- Listagem das cotas da rasante:

Quadro 84 – Ramo B – Listagem das cotas da rasante.

Km	Cota	i
0+000,000	654.120	-8,000
0+025,000	652.572	-4,613
0+050,000	652.070	-1,000
0+075,000	651.820	-1,000
0+100,000	651.570	-1,000
0+125,000	651.138	-3,726
0+150,000	649.788	-5,848
0+175,000	648.322	-5,978
0+200,000	646.822	-6,000
0+204,600	646.570	-6,000

A.2.5. RAMO C

- Velocidade específica do troço:

$$V=40\text{Km/h}$$

- Pontos notáveis:

Entrada

Quadro 85 – Ramo C – Pontos notáveis da entrada.

Designação	Km	Se	Cota	i
Ponto inicial	0+000,000	5,000	649,988	-0,500

Saída

Quadro 86 – Ramo C – Pontos notáveis da saída.

Designação	Km	Se	Cota
Ponto final	0+139,573	2,500	654,869
Ponto intermédio	0+122,240	2,500	653,817
“Nariz” do ramo	0+104,907	2,500	652,570

- Elementos característicos da rasante:

Trainel 1

$$\text{Inclinação “i”} = -0,500\%$$

$$\text{Desenvolvimento “d”} = 38,042\text{m}$$

Quadro 87 – Ramo B – Trainel 1.

	Km	Cota
Início	0+000,000	649,988
Fim	0+038,042	649,798

Concordância Vertical 1

Raio vertical “R” = -700m

Desenvolvimento “d” = 56,000m

Bissetriz “b” = 0,560m

Quadro 88 – Ramo C – Concordância vertical 1.

	Km	Cota	i
Início	0+038,042	649,798	-0,500
Fim	0+094,042	651,758	7,500
Vértice	0+066,042	649,658	-

Trainel 2

Inclinação “i” = 7,500%

Desenvolvimento “d” = 14,814m

Quadro 89 – Ramo C – Trainel 2.

	Km	Cota
Início	0+094,042	651,758
Fim	0+114,790	653,314

Concordância Vertical 2

Raio vertical “R” = 518,824m

Desenvolvimento “d” = 7,414m

Bissetriz “b” = -0,013m

Quadro 90 – Ramo C – Concordância vertical 2.

	Km	Cota	i
Início	0+114,790	653,314	7,500
Fim	0+122,204	653,817	6,071
Vértice	0+118,497	653,592	-

Trainel 3

Inclinação “i” = 6,071%

Desenvolvimento “d” = 17,324m

Quadro 91 – Ramo C – Trainel 3.

	Km	Cota
Início	0+122,204	653,817
Fim	0+139,528	654,869

- Listagem das cotas da rasante:

Quadro 92 – Ramo C – Listagem das cotas da rasante.

Km	Cota	i
0+000,000	649,988	-0,500
0+025,000	649,863	-0,500
0+050,000	649,840	1,000
0+075,000	650,587	5,000
0+100,000	652,205	7,500
0+125,000	653,987	6,071
0+139,528	654,869	6,071

A.2.6. RAMO D

- Velocidade específica do troço:

$$V = 50\text{Km/h (R=80m)} ; V = 45\text{Km/h (Ponto de saída)}$$

- Pontos notáveis:

Entrada

Quadro 93 – Ramo D – Pontos notáveis da entrada.

Designação	Km	Se	Cota
Ponto inicial	0+000,000	2,500	643,612
Ponto intermédio	0+021,648	2,500	644,910
“Nariz” do ramo	0+043,297	2,500	646,177

Saída

Quadro 94 – Ramo D – Pontos notáveis da saída.

Designação	Km	Se	Cota	i
Ponto inicial	0+185,879	5,000	650,588	0,500

- Elementos característicos da rasante:

Trainel 1

$$\text{Inclinação “i”} = 6,000\%$$

$$\text{Desenvolvimento “d”} = 20,048\text{m}$$

Quadro 95 – Ramo D – Trainel 1.

	Km	Cota
Início	0+000,000	643,612
Fim	0+020,048	644,815

Concordância Vertical 1

Raio vertical "R" = 1081,081m

Desenvolvimento "d" = 1,600m

Bissetriz "b" = -0,0003m

Quadro 96 – Ramo D – Concordância vertical 1.

	Km	Cota	i
Início	0+020,048	644,815	6,000
Fim	0+021,648	644,910	5,852
Vértice	0+020,848	644,863	-

Trainel 2

Inclinação "i" = 5,852%

Desenvolvimento "d" = 57,290m

Quadro 97 – Ramo D – Trainel 2.

	Km	Cota
Início	0+021,648	644,910
Fim	0+078,938	648,263

Concordância Vertical 2

Raio vertical "R" = 1250,000m

Desenvolvimento "d" = 66,900m

Bissetriz "b" = -0,448m

Quadro 98 – Ramo D – Concordância vertical 2.

	Km	Cota	i
Início	0+078,938	648,263	5,852
Fim	0+145,838	650,388	0,500
Vértice	0+112,388	650,221	-

Trainel 3

Inclinação “i” = 0,500%

Desenvolvimento “d” = 39,947m

Quadro 99 – Ramo D – Trainel 3.

	Km	Cota
Início	0+145,838	650,388
Fim	0+185,785	650,589

- Listagem das cotas da rasante:

Quadro 100 – Ramo D – Listagem das cotas da rasante.

Km	Cota	i
0+000,000	643.612	6,000
0+025,000	645.106	5,852
0+050,000	646.569	5,852
0+075,000	648.034	5,852
0+100,000	649.322	4,180
0+125,000	650.114	2,172
0+150,000	650.410	0,500
0+175,000	650.535	0,500
0+185,785	650.589	0,500

A3. DEFINIÇÃO NUMÉRICA DO PERFIL LONGITUDINAL DO TERRENO

A.3.1. ESTRADA PRINCIPAL

Apenas se apresenta dados sobre a zona de influência do nó de ligação.

- Quilometragem da rasante calculada:

Km 7+750,000 até Km 8+400,000

- Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno:

Quadro 101 – Estrada Principal – Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno.

Km	Cota
7+750,000	675,09
7+775,000	669,46
7+800,000	668,08
7+825,000	669,08
7+850,000	668,07
7+875,000	664,75
7+900,000	658,45
7+925,000	658,00
7+950,000	661,04
7+975,000	658,61
8+000,000	658,22
8+025,000	660,11
8+050,000	659,20
8+075,000	657,55
8+100,000	654,28
8+125,000	650,34
8+150,000	646,87
8+175,000	643,28
8+200,000	640,90
8+225,000	639,71
8+250,000	639,79
8+275,000	640,06
8+300,000	638,49
8+325,000	636,46
8+350,000	634,14
8+375,000	631,24
8+400,000	625,57

A.3.2. RAMO C+D

- Quilometragem final da rasante calculada:

Km 0+381,743

- Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno:

Quadro 102 – Ramo C+D – Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno.

Km	Cota
0+000,000	659,69
0+025,000	659,25
0+050,000	658,77
0+075,000	658,06
0+100,000	657,35
0+125,000	656,78
0+150,000	656,30
0+175,000	656,77
0+200,000	657,33
0+225,000	657,69
0+250,000	642,61
0+275,000	635,71
0+300,000	629,42
0+325,000	632,72
0+350,000	636,37
0+375,000	635,20
0+381,743	634,09

A.3.3. RAMO A

- Quilometragem final da rasante calculada:

Km 0+180,180

- Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno:

Quadro 103 – Ramo A – Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno.

Km	Cota
0+000,000	662,35
0+025,000	665,00
0+050,000	665,26
0+075,000	661,45
0+100,000	660,32
0+125,000	658,67
0+150,000	658,92
0+175,000	660,93
0+180,180	661,27

A.3.4. RAMO B

- Quilometragem final da rasante calculada:

Km 0+204,600

- Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno:

Quadro 104 – Ramo B – Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno.

Km	Cota
0+000,000	655,48
0+025,000	653,69
0+050,000	651,21
0+075,000	648,13
0+100,000	644,92
0+125,000	642,00
0+150,000	639,43
0+175,000	638,10
0+200,000	637,76
0+204,600	637,62

A.3.5. RAMO C

- Quilometragem final da rasante calculada:

Km 0+139,528

- Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno:

Quadro 105 – Ramo C – Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno.

Km	M
0+000,000	635,40
0+025,000	631,70
0+050,000	641,42
0+075,000	643,93
0+100,000	651,56
0+125,000	652,77
0+139,528	654,68

A.3.6. RAMO D

- Quilometragem final da rasante calculada:

Km 0+185,785

- Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno:

Quadro 106 – Ramo D – Listagem das cotas do perfil longitudinal do terreno.

Km	M
0+000,000	638,81
0+025,000	640,83
0+050,000	642,96
0+075,000	641,98
0+100,000	640,99
0+125,000	638,41
0+150,000	631,22
0+175,000	631,02
0+185,785	632,44

A4. PEÇAS DESENHADAS

DESENHO Nº1 – PLANTA DE IMPLANTAÇÃO



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

DESIGNAÇÃO:
Nº DE LIGAÇÃO EM TROMPETE

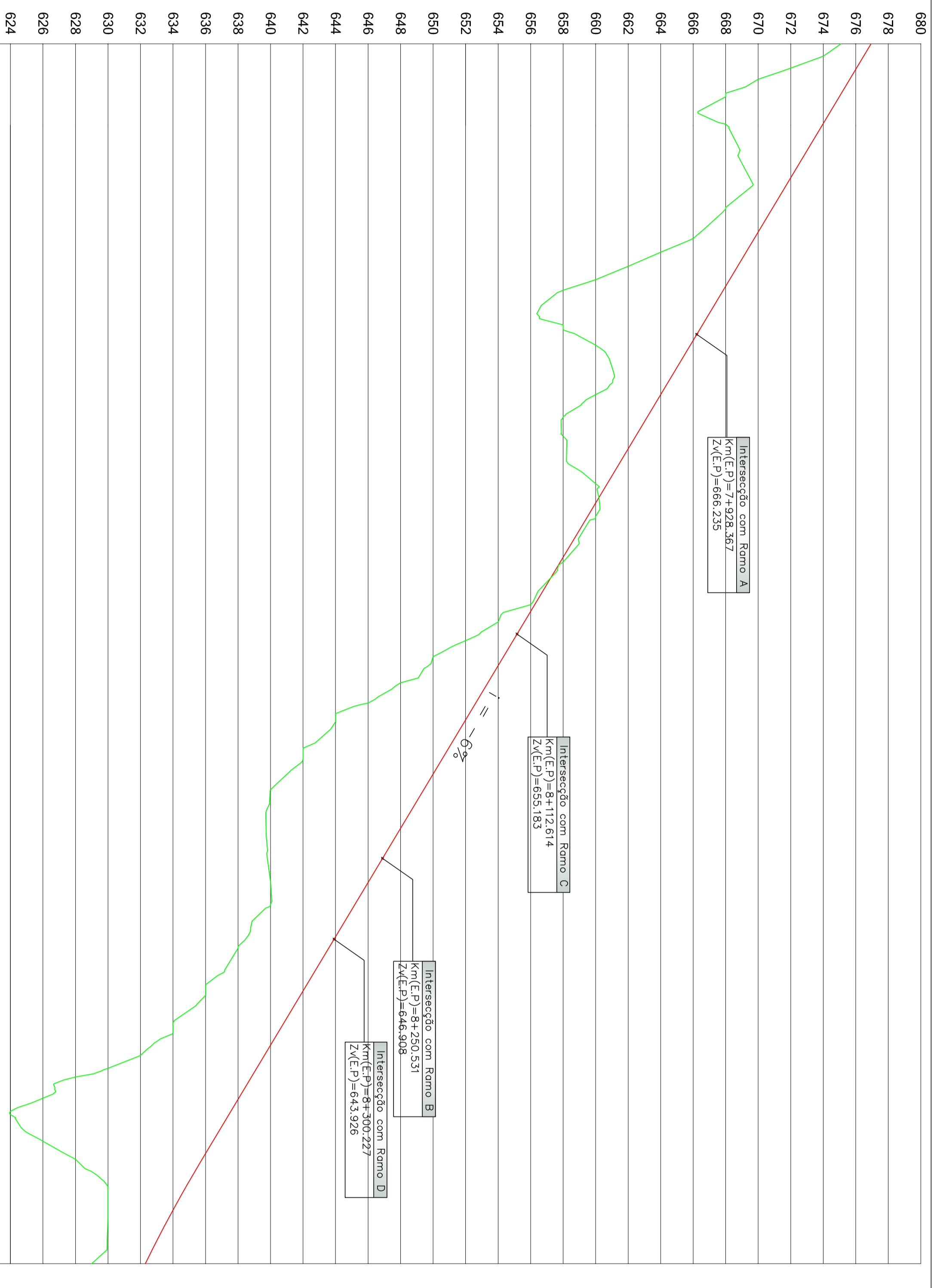
DATA:
Janeiro 2010

N.º Sem:
01

ESCALA:
A1: 1:1000

A B C D E F G H I J K L

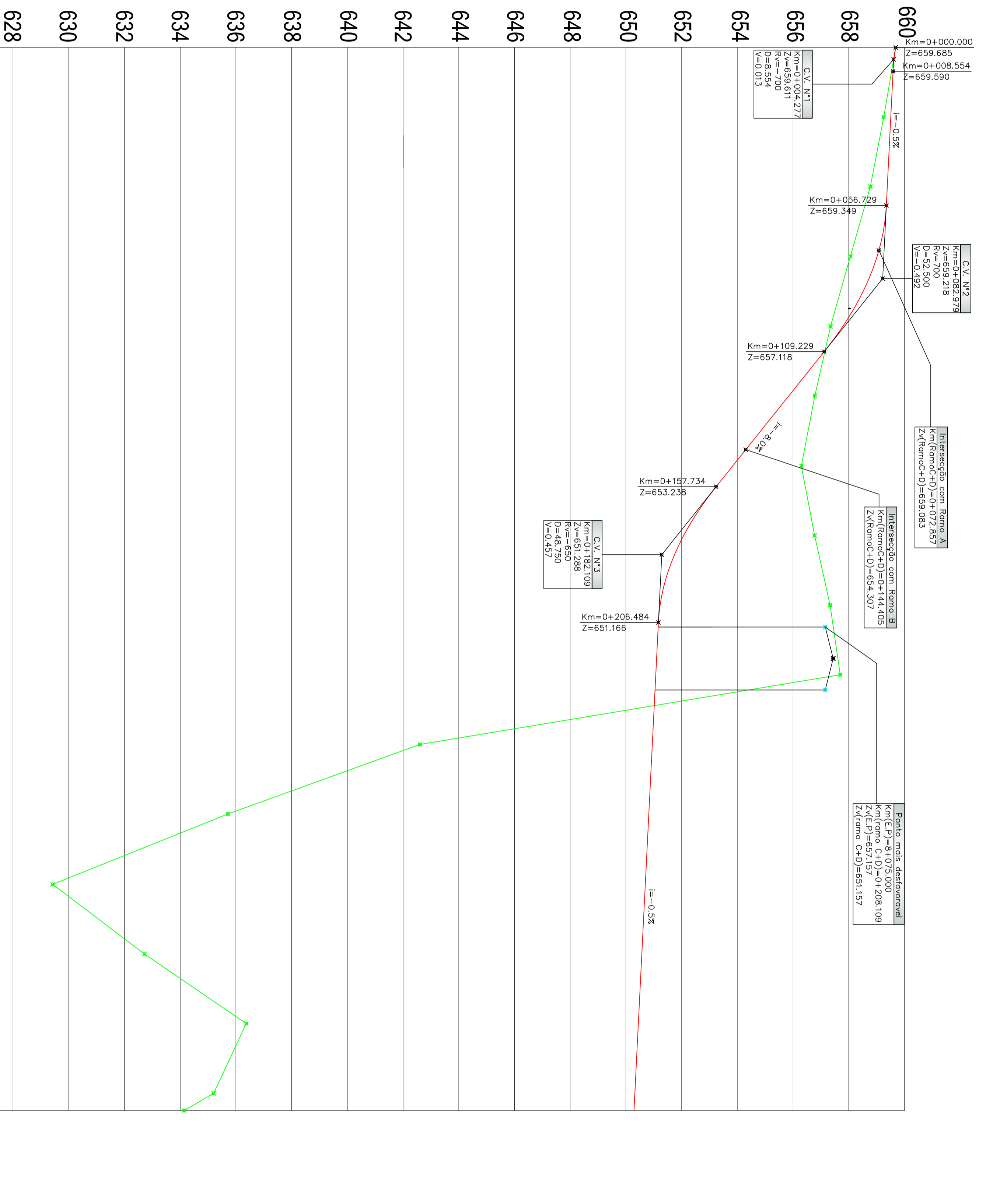
DESENHO Nº2 – PERFIL LONGITUDINAL – ESTRADA PRINCIPAL



PERFIL LONGITUDINAL	
QUILOMETRAGEM	7+750 7+800 7+850 7+900 7+950 8+000 8+050 8+100 8+150 8+200 8+250 8+300 8+350 8+400 8+450 8+500
COTAS DA RASANTE	676.940 673.940 672.440 670.940 669.440 666.440 661.940 655.940 652.940 649.940 646.940 645.440 642.940 639.940 636.940 634.940 632.940 629.940 628.296
COTAS DO TERRENO	675.09 669.46 668.08 669.08 668.07 664.75 658.45 658.00 661.04 658.61 658.22 660.11 659.20 657.55 654.28 650.34 646.87 643.28 640.90 639.71 639.79 640.06 638.49 636.46 634.14 631.24 625.57 626.06 629.81 629.99 628.99
ELEMENTOS DA RASANTE	$i = -6\%$ $D = 650,000$
SOBRELEVACÃO (%)	$i = -2,5\%$ $i = -2,5\%$
PONTOS NOTÁVEIS	
DIAGRAMA DE CURVAS	$R = 200$ $D = 650,000$

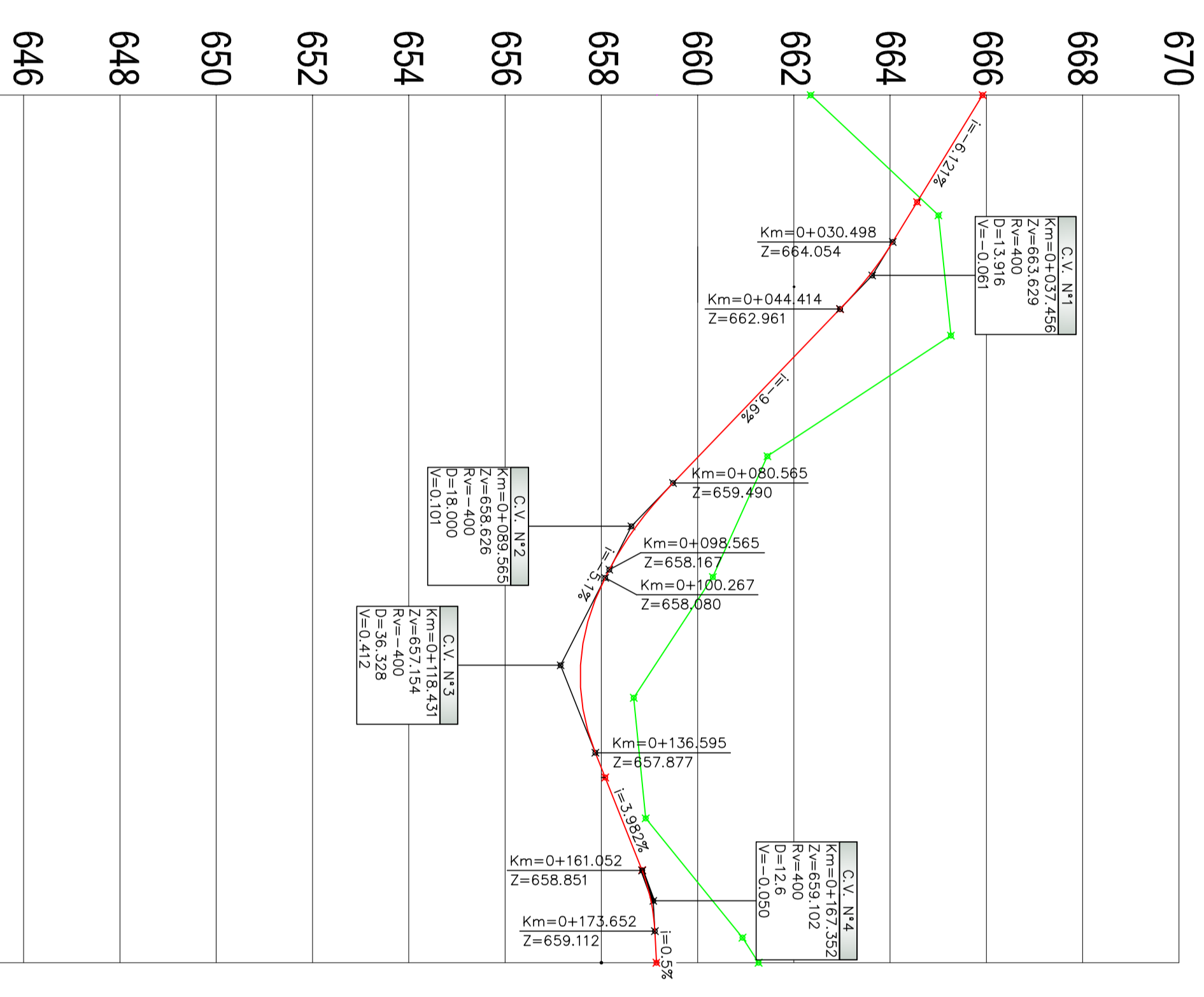
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P

DESENHO Nº3 – PERFIL LONGITUDINAL - RAMO C+D



PERFIL LONGITUDINAL	QUILOMETRAGEM											
	0+000	0+050	0+100	0+150	0+200	0+250	0+300	0+350	0+381.743			
COTAS DA RASANTE	659.685	659.508	659.383	658.060	655.841	653.330	651.072	650.822	650.695	650.570	650.445	650.320
COTAS DO TERRENO	659.69	659.25	658.77	658.06	657.35	656.78	656.30	656.77	657.33	642.61	635.71	635.20
ELEMENTOS DA RASANTE	R=-700 D=8.554	i=-0.5% D=48.175		R=700 D=52.500	i=-8% D=48.505		R=650 D=48.750		i=-0.5% D=175.259			
SOBREELEVAÇÃO (%)	i=-2.5%				i=-2.5%		i=-4% i=4%		i=-2.5% i=2.5%		i=-2.5% i=2.5%	
PONTOS NOTÁVEIS				0+121.449	0+155.199	0+175.960	0+209.710	0+243.708	0+313.881			
DIAGRAMA DE CURVAS	<p>R=∞ D=121.449 A=45 R=60 A=45 R=∞ D=33.998</p> <p>R=∞ D=70.175 A=60 R=51.3 D=67.862</p>											

DESENHO Nº4 – PERFIL LONGITUDINAL - RAMO A

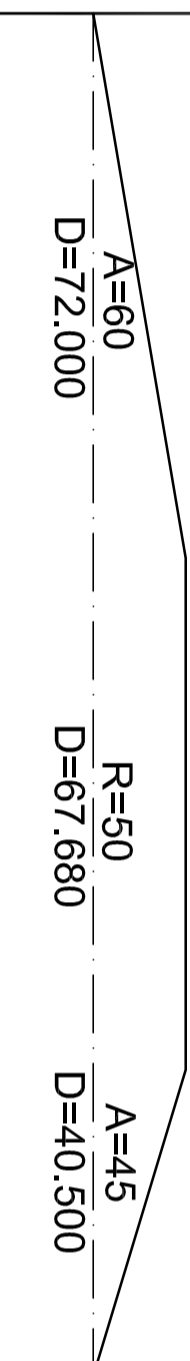


QUILOMETRAGEM	PERFIL LONGITUDINAL	
	COTAS DA RASANTE	COTAS DO TERRENO
0+000	665.921	662.35
0+050	662.424	665.00
0+100	658.089	661.45
0+150	658.420	660.32
0+180.180	659.145	661.27

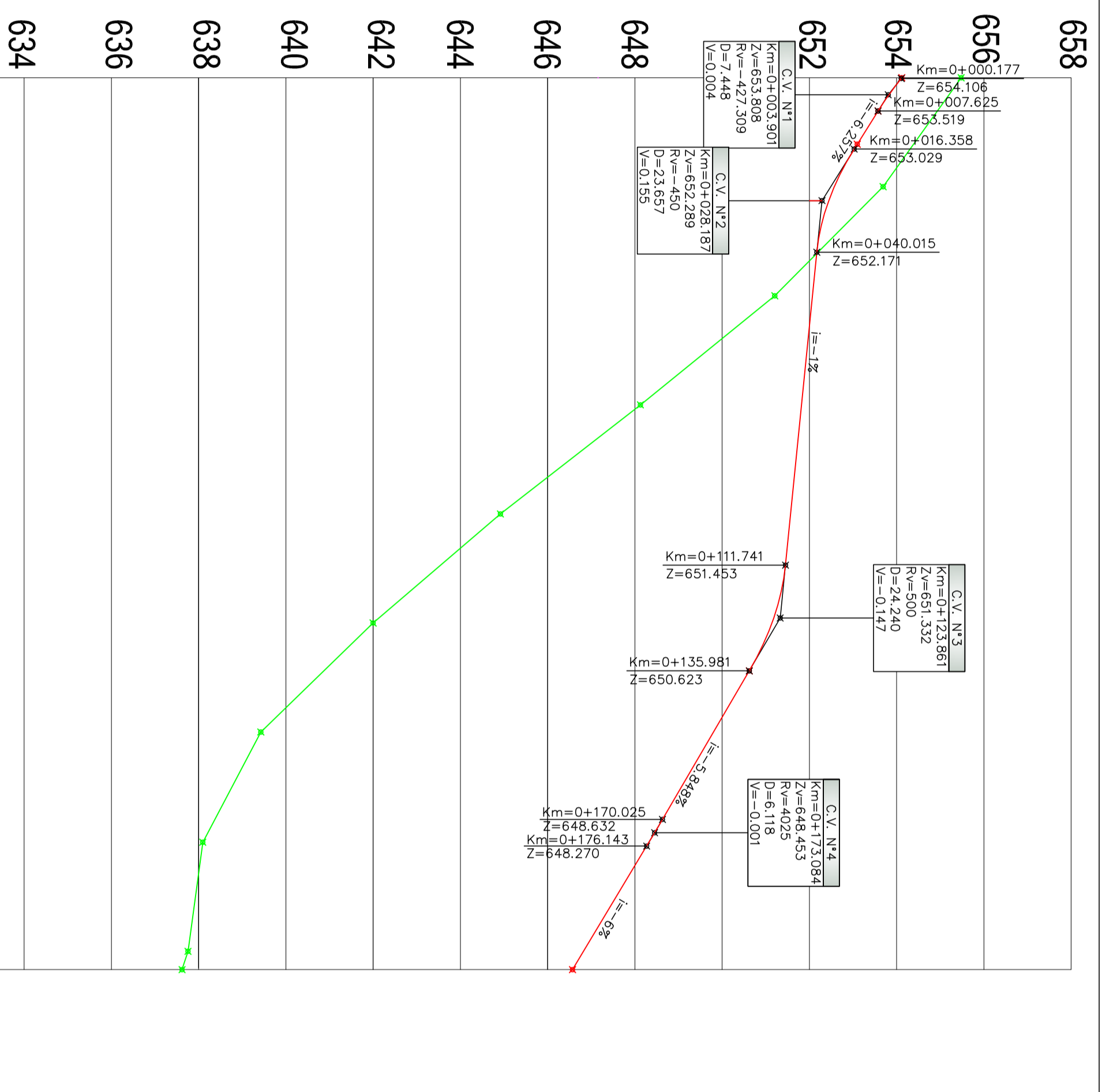
ELEMENTOS DA RASANTE	SOBREELEVAÇÃO (%)
I=-6.121% R=400 D=30.498	I=+2.5%
I=-9.66% R=400 D=36.151	I=+4% I=+5%
I=-5.1% R=400 D=11.702	I=+5% I=+2.5%
I=-3.982% R=400 D=24.457	
I=0.5% R=400 D=6.528	

PONTOS NOTÁVEIS
0+72.000
0+139.680

PLANTA
DIAGRAMA DE CURVAS



DESENHO Nº5 – PERFIL LONGITUDINAL - RAMO B



KILOMETRAGEM	PERFIL LONGITUDINAL	
	COTAS DA RASANTE	COTAS DO TERRENO
0+000	654.120	655.48
0+050	652.070	653.69
0+100	651.570	651.21
0+150	651.138	648.13
0+204,600	646.570	644.92
		642.00
		639.43
		638.10
		637.76
		637.62

ELEMENTOS DA RASANTE	
R=427,309R=450	R=500
i=8% i=6,257%	i=-1%
D=0,177 D=8,733	D=71,726
D=7,448 D=23,657	D=24,240
	i=5,848% i=6%
	D=34,044 D=28,457
	D=6,118

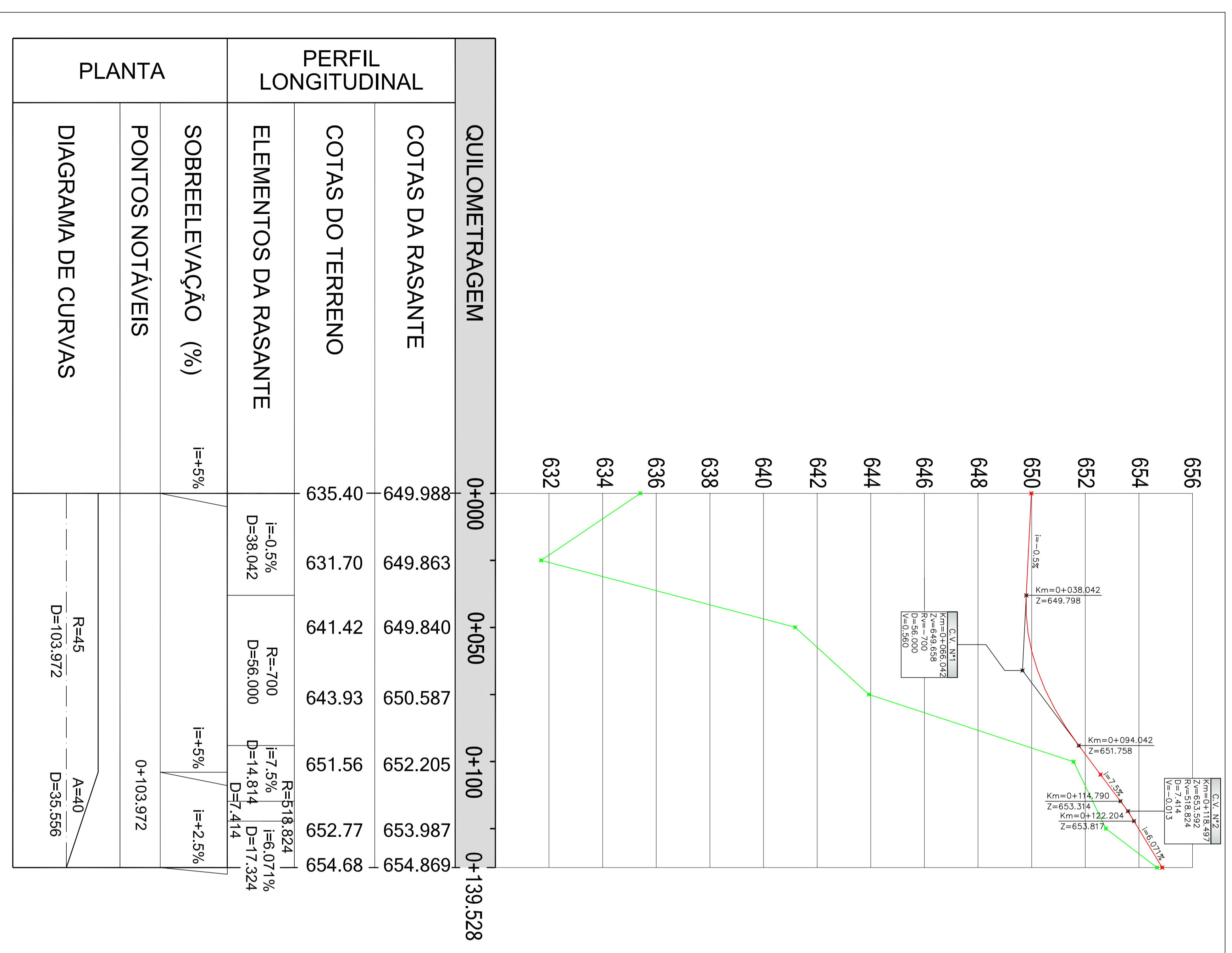
SOBRELEVAÇÃO (%)	
i=+1,13%	i=+3,5%
i=+2,55%	i=+2,5%
	i=+2,5%
	i=+2,5%

PONTOS NOTÁVEIS	
0+72,000	0+132,6

DIAGRAMA DE CURVAS	
A=120	R=200
D=72,000	D=60,600
	A=120
	D=72,000

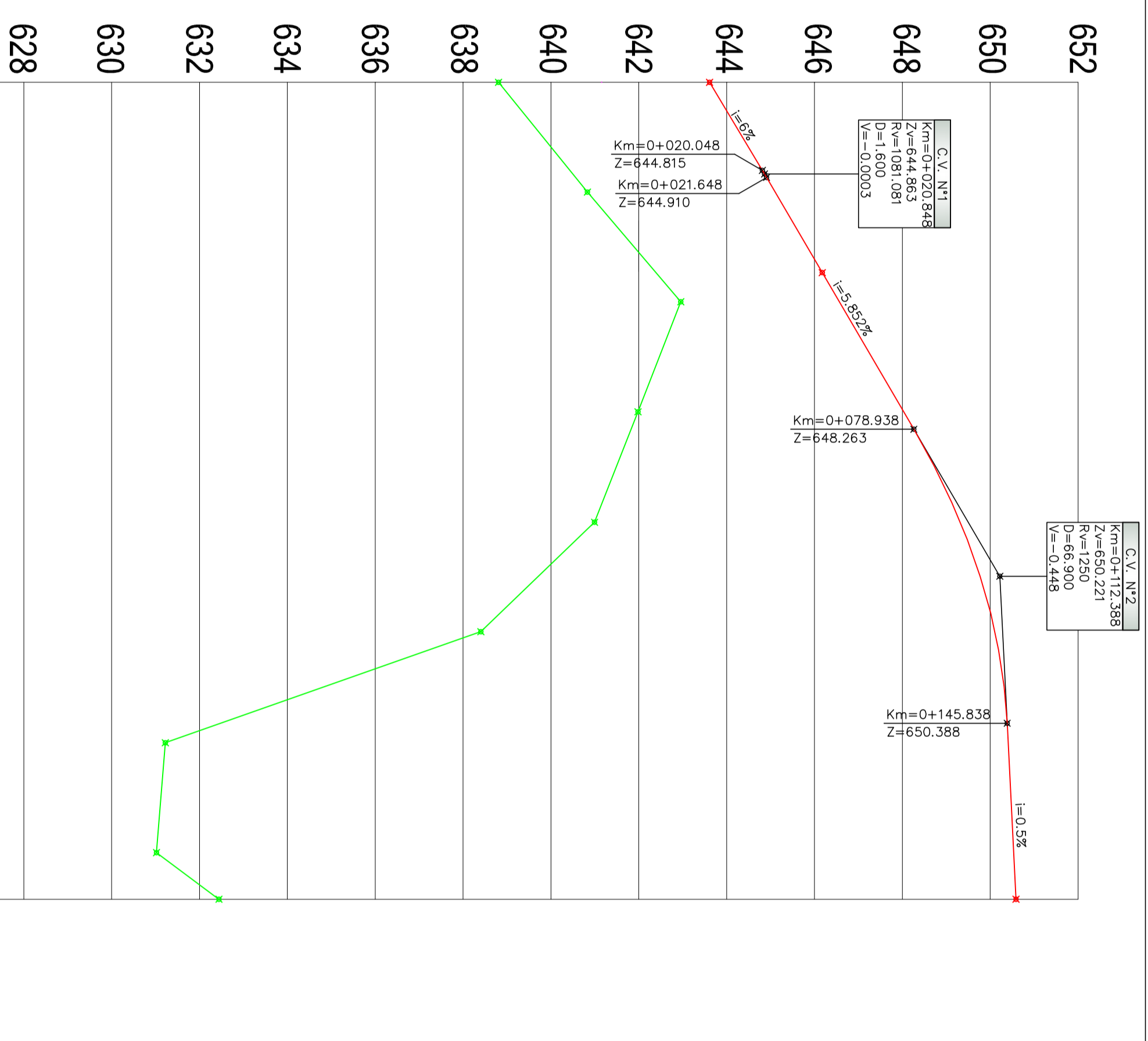
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

DESENHO Nº6 – PERFIL LONGITUDINAL - RAMO C



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

DESENHO Nº7 – PERFIL LONGITUDINAL - RAMO D



PERFIL LONGITUDINAL		QUILOMETRAGEM
COTAS DA RASANTE		0+000 0+050 0+100 0+150 0+185.785
COTAS DO TERRENO		643.612 645.106 646.569 648.034 649.322 650.114 650.410 650.535 650.589
ELEMENTOS DA RASANTE		R=1081.081 i=6% D=20.048 D=1.600 i=5.852% D=57.290 R=1250 D=66.900 i=0.5% D=39.947
SOBREELEVAÇÃO (%)		i=+2.5% i=+3.5% i=+3.5% i=0.0% i=-5%
PONTOS NOTÁVEIS		0+45.000 0+78.285 0+123.285
DIAGRAMA DE CURVAS		A=60 R=80 A=60 D=45.000 D=33.285 D=45.000 A=60 D=62.500