

PROJETO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM MEIO-TREVO

VÍTOR EMANUEL ANDRADE COELHO

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

JULHO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012

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

*Todo o conhecimento humano começou com intuições,
passou daí aos conceitos e terminou com ideias*

Immanuel Kant

AGRADECIMENTOS

Há cinco anos atrás, entrava de férias com a incógnita do que iria acontecer passados três meses. Entrei na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto com o objetivo de me formar para ser Engenheiro Civil. Ao longo desses cinco anos tive a oportunidade de conhecer diversas pessoas que me ajudaram nesse percurso e que contribuíram para a minha formação profissional e pessoal.

Em primeiro lugar, agradeço ao Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França, por suscitar dentro de mim o interesse pela grandiosa área das Vias de Comunicação. Uma fonte rica em conhecimento e experiência que me orientou, em grande parte, na fase final do curso no desenvolvimento da presente dissertação, demonstrando, também, plena disponibilidade.

Agradeço também a todos os professores da secção de Vias de Comunicação e do tronco comum pelos conhecimentos transmitidos e experiências partilhadas. Um agradecimento especial à D. Guilhermina Castro por sempre se mostrar disponível em atender os pedidos dos alunos de Vias de Comunicação.

Um muito obrigado aos meus colegas de curso, Emanuel Tomé e José Carvalhal pela troca de ideias geradas na escalada do curso. Um obrigado também aos companheiros deste último ano da especialidade, Cátia Correia, Nuno Miranda e Elisabete Barros pela troca de experiências.

Um agradecimento especial à minha namorada, Marta Fonseca, pela compreensão demonstrada em muitos momentos de maior *stress*, pelo carinho e força transmitida, e por todos os conselhos dados na realização da parte escrita do projeto final.

Por último, mas não menos importante, agradeço aos meus pais, que sem eles nada disto seria possível. Obrigado pelos conselhos transmitidos, por fazerem de mim a pessoa que sou hoje, pelo carinho e apoio oferecido, pelo esforço realizado e pela felicidade alcançada. Agradeço, também, a todos os familiares e amigos que têm um contributo ativo na minha vida.

RESUMO

A presente dissertação insere-se na especialidade da Geometria do Traçado, cujo objetivo é elaborar um projeto de um Nó Rodoviário em Meio-Trevo. O estudo aqui desenvolvido tem como base as matérias lecionadas na área de Vias de Comunicação, dando ênfase às unidades curriculares de Vias de Comunicação 1 e 2, do 4º ano, e Complementos de Estradas e Aeródromos, do 5º ano.

O trabalho inicia-se com uma abordagem histórica acerca das estradas portuguesas, a sua ligação com a Europa e a sinistralidade verificada nos últimos anos. Nos capítulos seguintes é realizado um enquadramento teórico dos conceitos adquiridos, com recurso às Normas do Traçado, às Normas de Nós de Ligação e às Normas de Intersecções, produzidas pela ex-JAE.

As opções tomadas no caminho para a obtenção da solução final são expostas no sexto capítulo, explicando todos os procedimentos efetuados na definição geométrica do Nó de Ligação. O estudo passa, então, pela definição de uma nova diretriz para a Estrada Secundária na zona de cruzamento com a Estrada Principal, pelo traçado em planta dos ramos de ligação e das intersecções, pela definição dos perfis longitudinais e uma referência aos perfis transversais tipo de todos os elementos. O autor procura, ainda, explicar as decisões tomadas com base em esquemas, para um melhor entendimento por parte do leitor.

No capítulo dedicado aos Anexos é apresentado um conjunto de quadros com os resultados obtidos ao longo do projeto e um conjunto de peças desenhadas com a solução final.

PALAVRAS-CHAVE: Geometria do Traçado, Nó em Meio-Trevo, Diretriz, Rasante, Intersecção.

ABSTRACT

The present dissertation is part of the speciality of Design Geometry, which aim is to draw up a project of a Partial Cloverleaf Interchange. The study developed here is based on the subjects taught in the area of Transport Infrastructures, giving emphasis to the courses of Vias de Comunicação 1 and 2, of 4th year, and Complementos de Estradas e Aeródromos, of 5th year.

The work begins with a historical approach about the portuguese roads, its connection with Europe and the accidents recorded in recent years. In the following chapters is carry out a theoretical framework of the concepts acquired, using the Standards Road Design , the Standards Interchanges and the Standards Intersections, produced by ex-JAE.

The options taken on the way to achieve the final solution are exposed in the sixth chapter, explaining all the procedures performed in the geometric definition of the junction node. The study involves the definition of a new alignment for the Secondary Road in the crossing section with the Main Road, the track alignment of the branches nodes and of the intersections, the definition of the vertical alignment and a reference to the standard transversal sections of all elements. The author attempts to further explain the decisions taken based on schemas, to a better understanding for the reader.

In the Appendix chapter is presented a set of tables with the results obtained during the project and a set of drawings with the final solution.

KEYWORDS: Road Design, Partial Cloverleaf Interchange, Horizontal Alignment, Vertical Alignment, Intersection.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. Introdução	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. ÂMBITO E ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	1
2. Pelas Estradas de Portugal	3
2.1. HISTÓRIA	3
2.2. EVOLUÇÃO ADMINISTRATIVA DAS ESTRADAS DE PORTUGAL	5
2.3. REDE DE ESTRADAS NACIONAIS NO CONTEXTO EUROPEU	7
2.4. SINISTRALIDADE RODOVIÁRIA EM PORTUGAL	9
3. Geometria do Traçado – Normas	13
3.1. INTRODUÇÃO	13
3.2. ELEMENTOS BÁSICOS	13
3.3. TRAÇADO EM PLANTA	15
3.3.1. DEFINIÇÃO	15
3.3.2. ALINHAMENTOS RETOS	15
3.3.3. CURVAS CIRCULARES	16
3.3.4. CURVAS DE TRANSIÇÃO	18
3.3.5. VISIBILIDADE	21
3.3.6. REVISÃO TEÓRICA DAS COORDENADAS E ORIENTAÇÕES E DA PIQUETAGEM DOS ELEMENTOS DA DIRETRIZ	23
3.4. TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL	25
3.4.1. GENERALIDADES	25
3.4.2. TRINEIS	26
3.4.3. CONCORDÂNCIAS VERTICAIS	27
3.4.4. REVISÃO TEÓRICA DO CÁLCULO DE COTAS	31
3.5. COORDENAÇÃO DO TRAÇADO EM PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL	32

3.6. PERFIL TRANSVERSAL	35
3.6.1. GENERALIDADES	35
3.6.2. FAIXA DE RODAGEM	35
3.6.3. INCLINAÇÃO TRANSVERSAL.....	35
3.6.4. SOBREELEVAÇÃO	35
3.6.5. BERMAS	38
3.6.6. VALETAS/VALAS.....	39
3.6.7. TALUDES	41
3.6.8. SEPARADORES.....	41
4. Geometria dos Nós de Ligação – Normas	43
4.1. INTRODUÇÃO	43
4.2. TIPOS DE NÓS DE LIGAÇÃO	44
4.2.1. GENERALIDADES	44
4.2.2. NÓ EM TROMPETE	44
4.2.3. NÓ EM DIAMANTE	45
4.2.4. NÓ EM MEIO-TREVO INCOMPLETO	46
4.2.5. NÓ EM MEIO-TREVO COMPLETO	46
4.2.6. NÓ EM TREVO COMPLETO	47
4.3. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	48
4.3.1. GENERALIDADES	48
4.3.2. VELOCIDADE ESPECÍFICA	48
4.3.3. CURVAS DE TRANSIÇÃO.....	49
4.3.4. PERFIL TRANSVERSAL DOS RAMOS DE LIGAÇÃO	49
4.3.5. VISIBILIDADE	51
4.3.6. PERFIL LONGITUDINAL DOS RAMOS DE LIGAÇÃO	52
4.3.7. SOBREELEVAÇÃO NOS RAMOS DE LIGAÇÃO	53
4.3.8. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DAS INTERSEÇÕES DOS RAMOS DE LIGAÇÃO COM A ESTRADA SECUNDÁRIA	54
4.3.9. VIAS AUXILIARES.....	56
4.4. CONTROLE DE ACESSOS	56

5. Geometria de Intersecções – Normas	57
5.1. INTRODUÇÃO	57
5.2. TIPO DE INTERSECÇÕES	58
5.2.1. GENERALIDADES.....	58
5.2.2. INTERSECÇÕES SEM CANALIZAÇÃO DO TRÁFEGO	58
5.2.3. INTERSECÇÕES COM CANALIZAÇÃO DO TRÁFEGO	59
5.2.4. INTERSECÇÕES GIRATÓRIAS	59
5.2.5. INTERSECÇÕES SEMAFORIZADAS	60
5.2.6. INTERSECÇÕES DESNIVELADAS.....	61
5.3. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS INTERSECÇÕES	61
5.3.1. GENERALIDADES.....	61
5.3.2. VISIBILIDADE	61
5.3.3. ESTRADA SECUNDÁRIA	62
5.3.4. VIAS AUXILIARES	65
5.3.5. CONSTRUÇÃO DO <i>TAPER</i>	68
5.3.6. CONSTRUÇÃO DA ILHA SEPARADORA	70
6. Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo	73
6.1. INTRODUÇÃO	73
6.2. CONDICIONANTES E DEFINIÇÃO DO LAYOUT	74
6.3. DADOS INICIAIS DO PROJETO	76
6.4. ESTRADA SECUNDÁRIA	78
6.4.1. TRAÇADO EM PLANTA	78
6.4.1.1. Alternativa A	78
6.4.1.2. Alternativa B	81
6.4.2. TRAÇADO EM PERFIL	82
6.4.2.1. Alternativa A	82
6.4.2.2. Alternativa B	84
6.4.3. ANÁLISE DAS DUAS ALTERNATIVAS	85
6.5. TRAÇADO EM PLANTA – RAMOS DE LIGAÇÃO	85
6.5.1. GENERALIDADES.....	85
6.5.2. RAMO A E RAMO A+B1	86

6.5.3. RAMO B.....	89
6.5.4. RAMO A+B2	92
6.5.5. RAMO A+B	96
6.5.6. RAMO C E RAMO C+D1.....	98
6.5.7. RAMO D	99
6.5.8. RAMO C+D2.....	102
6.5.9. RAMO C+D.....	104
6.6. TRAÇADO EM PLANTA – INTERSECÇÕES	106
6.6.1. GENERALIDADES.....	106
6.6.2. INTERSECÇÃO 1	106
6.6.3. INTERSECÇÃO 2	110
6.7. TRAÇADO EM PLANTA – VIAS AUXILIARES	112
6.7.1. GENERALIDADES.....	112
6.7.2. RAMO A.....	113
6.7.3. RAMO B.....	114
6.7.4. RAMO C	115
6.7.5. RAMO D	116
6.8. PERFIL LONGITUDINAL	118
6.8.1. GENERALIDADES.....	118
6.8.2. ESTRADA SECUNDÁRIA.....	119
6.8.3. RAMO A.....	123
6.8.4. RAMO A+B	124
6.8.5. RAMO B.....	125
6.8.6. RAMO C	127
6.8.7. RAMO C+D.....	128
6.8.8. RAMO D	129
6.9. PERFIL TRANSVERSAL.....	131
6.9.1. GENERALIDADES.....	131
6.9.2. ESTRADA SECUNDÁRIA.....	132
6.9.3. RAMO A.....	134
6.9.4. RAMO B.....	135
6.9.5. RAMO C	137
6.9.6. RAMO D	138

6.9.7. INTERSECÇÃO 1	139
6.9.8. INTERSECÇÃO 2	141
6.10. OUTRAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	142
6.10.1 EXTENSÕES DOS ALINHAMENTOS RETOS NA ESTRADA SECUNDÁRIA	142
6.10.2. VIA DE LENTOS	143
6.10.3. VISIBILIDADE.....	143
6.10.4. PONTOS BAIXOS EM ESCAVAÇÃO	145
6.10.5. LIGAÇÃO DA ESTRADA SECUNDÁRIA ANTIGA À NOVA.....	145
7. Conclusão	147
Bibliografia	149
Anexos.....	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. – Mapa do Plano Rodoviário Nacional, 2004 (Fonte: SNIG) [10].....	6
Figura 2.2. – Componente rodoviária da Rede Transeuropeia de Transportes em 2011 [11 p.9].	8
Figura 2.3. – Tráfego Médio Diário Anual nas principais fronteiras de Portugal no ano 2010, em veículos/dia [11 p.27-35].....	9
Figura 2.4 – Evolução do número de vítimas mortais na Europa dos 27 e em Portugal desde 2001 até 2009 (Fonte: Eurostat) [13]	10
Figura 3.1. - Combinação de raios desejável (1 - relação muito boa; 2 - relação boa; 3 - relação aceitável) [19].....	17
Figura 3.2. - Representação esquemática da clotóide e dos seus elementos.	19
Figura 3.3. - Representação do intervalo ótimo no qual deve estar situado o parâmetro A.....	21
Figura 3.4. - Visibilidade nas curvas em função da Velocidade do Tráfego ou da Velocidade Base, se não for IP e/ou IC (km/h) (Afastamento da obstrução em metros) [19]	22
Figura 3.5. – Representação dos parâmetros caracterizadores de uma curva composta.	24
Figura 3.6. - Elementos de uma concordância vertical [21].....	26
Figura 3.7. - Cálculo do raio mínimo de uma concordância convexa (A: $D > D_v$; B: $D < D_v$) [21]	28
Figura 3.8. - Cálculo do raio mínimo de uma concordância côncava (A: $D > D_v$; B: $D < D_v$) [21]	29
Figura 3.9. - Coordenação do Traçado em Planta e Perfil 1 (Fonte: fig. 12A, [18] ou [19])	33
Figura 3.10. - Coordenação do Traçado em Planta e Perfil 2 (Fonte: fig. 12B, [18] ou [19])	33
Figura 3.11. - Coordenação do Traçado em Planta e Perfil 3 (Fonte: fig. 12C, [18] ou [19])	34
Figura 3.12. - Coordenação do Traçado em Planta e Perfil 4 (Fonte: fig. 12D, [18] ou [19])	34
Figura 3.13. - Transição da sobrelevação, pondo em evidência um perfil longitudinal do eixo e dos bordos da faixa de rodagem para estradas de 2 vias [21]	37
Figura 3.14. - Transição da sobrelevação em perspetiva [21].....	37
Figura 3.15. - Exemplos de valetas de plataforma (Fonte: fig. 17 B, [18] ou [19])	40
Figura 3.16. - Exemplo de vala de bordadura [21].....	40
Figura 3.17. - Exemplo de vala de crista [21].....	40
Figura 3.18. - Largura mínima absoluta do separador central (usual em nós de ligação) [21].	41
Figura 4.1. – Classificação dos cruzamentos [cf. 23 p.8]	43
Figura 4.2. – Exemplo de um Nó em Trompette (Fonte: Google Maps 2012).....	45
Figura 4.3. – Exemplo de um Nó em Diamante com duas rotundas na estrada secundária (Fonte: Google Maps 2012).....	45
Figura 4.4. – Exemplo de um Nó em Meio-Trevo Incompleto (Fonte: Google Maps 2012)	46
Figura 4.5. – Exemplo de um Nó em Meio-Trevo Completo (Fonte: Google Maps 2012)	47

Figura 4.6. – Exemplo de um Nó em Trevo Completo (Fonte: Google Maps 2012).....	47
Figura 4.7. – Ramos de ligação - Velocidade Base [cf. 22 p.44]	48
Figura 4.8. - Ramos de ligação - Número de vias [22].....	50
Figura 4.9. – Largura da(s) via(s) da faixa de rodagem e das bermas interior e exterior em ramos unidirecionais [24].....	51
Figura 4.10. – Largura da(s) via(s) da faixa de rodagem e das bermas interior e exterior em ramos bidirecionais [24].....	51
Figura 4.11. – Visibilidade nas entradas [cf. 22 p.27]	52
Figura 4.12. – Ramos de ligação - visibilidade nas intersecções [22]	55
Figura 4.13. – Controle de Acessos (A e B) [22].....	56
Figura 5.1. - Exemplo de uma intersecção sem canalização do tráfego (Fonte: Google Maps 2012) .	59
Figura 5.2. - Exemplo de uma intersecção com canalização do tráfego (Fonte: Google Maps 2012) .	59
Figura 5.3. - Exemplo de uma intersecção giratória (Fonte: Google Maps 2012)	60
Figura 5.4. - Exemplo de uma intersecção semaforizada (Fonte: Google Maps 2012).....	60
Figura 5.5. - Triângulo mínimo de visibilidade [cf. 23 p.23].....	62
Figura 5.6. - Esquema da ilha direcional [cf. 23 p.44].....	64
Figura 5.7. - Exemplo de uma via auxiliar (vias de aceleração) do tipo paralelo [24].....	66
Figura 5.8. - Exemplo de uma vias auxiliar (via de aceleração) do tipo diagonal [24].....	66
Figura 5.9. - Esquema para a definição geométrica do <i>taper</i> em reta [24].....	69
Figura 5.10. - Esquema para a definição geométrica do <i>taper</i> em curva [24]	70
Figura 5.11. - Traçado da ilha separadora - $80\text{ gr} < \text{ângulo da intersecção} < 120\text{ gr}$ [cf. 23 p.53].....	71
Figura 6.1 – Divisão da zona de projeto em quadrantes.....	74
Figura 6.2. – Representação da estrada secundária no perfil longitudinal da estrada principal.	77
Figura 6.3. – Diretriz e Pontos notáveis dos alinhamentos retos da Alternativa A.	79
Figura 6.4. – Diretriz e Pontos notáveis dos alinhamentos retos da Alternativa B.	81
Figura 6.5. – Obliquidade, λ , que a estrada secundária faz com a estrada principal	83
Figura 6.6. – Definição geométrica do Ramo A e A+B1.	87
Figura 6.7. – Definição geométrica do Ramo B.	90
Figura 6.8. - Definição geométrica do Ramo A+B2.....	93
Figura 6.9. – Definição geométrica do Ramo A+B.....	96
Figura 6.10. - Definição geométrica do Ramo D.....	100
Figura 6.11. - Definição geométrica do Ramo C+D.	105
Figura 6.12. – Esquema exemplificativo de obtenção do centro da cabeça jusante da ilha separadora.	109

Figura 6.13. - Representação da Intersecção 1	110
Figura 6.14. - Representação da Intersecção 2	112
Figura 6.15. – Representação dos pontos notáveis na via de abrandamento do Ramo A (E → O3,A)	114
Figura 6.16. – Representação dos pontos notáveis da via de aceleração do Ramo B (O'4,B → B) ..	115
Figura 6.17. – Representação dos pontos notáveis da via de abrandamento do Ramo C (E → O6,C)	116
Figura 6.18. – Representação dos pontos notáveis da via de aceleração do Ramo D (PEP → B)	117
Figura 6.19. - Esquema geral de cálculo da concordância conhecidos 3 pontos de cota fixa.	119
Figura 6.20. – Linha de maior declive no final do Ramo A+B.	125
Figura 6.21. - Esquema de cálculo da concordância final do Ramo B.	126
Figura 6.22. - Esquema de cálculo da concordância inicial do Ramo C.	128
Figura 6.23. – Linha de maior declive no final do Ramo C+D.	129
Figura 6.24. – Esquema de cálculo da concordância final do Ramo D.	130
Figura 6.25.- Convenção de sinais para as inclinações transversais.	131
Figura 6.26. - Esquema representativo do desnível em zonas de transição.	132
Figura 6.27 – Perfil Transversal tipo em alinhamento reto – PK 0+600,000.	133
Figura 6.28 – Perfil Transversal Tipo em curva circular dotada de sobrelargura – PK 0+150,000	133
Figura 6.29. - Perfil Transversal Tipo em curva circular sem sobrelargura - PK 0+475,000.....	134
Figura 6.30. - Perfil Transversal Tipo na obra de arte - PK 0+350,000.	134
Figura 6.31. – Perfil Transversal Tipo do Ramo A em curva circular.	135
Figura 6.32. – Perfil Transversal Tipo do Ramo B – PK 0+050,000.....	137
Figura 6.33. - Perfil Transversal Tipo do Ramo B - PK 115,000 m.....	137
Figura 6.34. – Perfil Transversal Tipo do Ramo C em curva circular.	138
Figura 6.35. – Perfil Transversal Tipo do Ramo C+D – PK 0+000,000.	141
Figura 6.36. – Triângulo mínimo de visibilidade na Intersecção 1	143
Figura 6.37. – Triângulo mínimo de visibilidade da Intersecção 2	144
Figura 6.38. – Visibilidade na zona intermédia das intersecções 1 e 2	144

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1. – Número de vítimas mortais na Europa dos 27 e em Portugal desde 2001 até 2009 (Fonte: Eurostat) [13].	10
Quadro 3.1 – Velocidade Base e Velocidade do Tráfego nas estradas da RRN [cf. 19 p.10]	14
Quadro 3.2. - Velocidade a considerar nos vários elementos do traçado [cf. 18 p.25]	15
Quadro 3.3. – Extensão mínima e máxima dos alinhamentos retos [cf. 18 p.42]	16
Quadro 3.4. - Valores dos Raios Mínimos Absoluto e Normal e respetivo coeficiente de aderência transversal implícito nas Normas [cf. 18 p.36; 20]	18
Quadro 3.5 - Inclinação máxima dos traneis [18 cf. p.51]	26
Quadro 3.6 - Extensão crítica dos traneis [cf. 18 p.52]	27
Quadro 3.7 - Raios mínimos das concordâncias convexas e côncavas [cf. 18 p.55]	30
Quadro 3.8 - Desenvolvimentos mínimos das concordâncias convexas e côncavas [18]	31
Quadro 3.9 - Sobreelevação em curva [cf. 18 p.75]	36
Quadro 3.10 - Declividade máxima e mínima da transição da sobrelevação [18]	38
Quadro 3.11. - Largura das vias e das bermas pavimentadas [19]	39
Quadro 3.12 - Largura mínima dos separadores [18]	41
Quadro 4.1. – Nós de Ligação [cf. 22 p.5]	44
Quadro 4.2. – Velocidade Específica, extensão mínima e parâmetro mínimo da clotóide e extensão mínima dos sucessivos arcos de círculo [cf. 22 p.37]	49
Quadro 4.3. – Sobrelargura das curvas dos ramos de ligação [cf. 22 p.36]	50
Quadro 4.4. – Distância de visibilidade de decisão [cf. 22 p.26]	51
Quadro 4.5. – Inclinações máximas dos traneis [cf. 22 p.29]	52
Quadro 4.6. – Raios mínimos verticais das concordâncias convexas e côncavas	53
Quadro 4.7. – Sobreelevação nos Ramos de Ligação [cf. 22 p.33]	53
Quadro 4.8. – Transição da sobrelevação nas curvas dos ramos de ligação [cf. 22 p.34]	54
Quadro 4.9. – Diferença máxima entre a inclinação transversal da estrada principal e de um ramo de ligação [22]	54
Quadro 4.10. – Distância de visibilidade - intersecção dum ramo de ligação com a estrada secundária [22]	55
Quadro 5.1. – Tipo de cruzamentos [cf. 23 p.9]	58
Quadro 5.2. - Distância de visibilidade de paragem [cf. 23 p.21]	61
Quadro 5.3. - Distância de visibilidade na estrada principal (d) [cf. 23 p.26]	62
Quadro 5.4 - Raios de viragem à esquerda em função do ângulo da intersecção [cf. 23 p.42]	63
Quadro 5.5. - Raio mínimo das curvas de viragem à direita [cf. 23 p.45]	65
Quadro 5.6. - Casos de adoção de Vias Auxiliares [cf. 23 p.27]	65

Quadro 5.7. - Extensão das Vias de Abrandamento para traneis com inclinação menor a 3% [24] ...	67
Quadro 5.8. - Extensão das Vias de Aceleração para traneis com inclinação menor a 3% [24]	67
Quadro 5.9. - Fator multiplicativo para Vias de Abrandamento [24]	68
Quadro 5.10. - Fator multiplicativo para Vias de Aceleração [24]	68
Quadro 6.1. – Coordenadas dos pontos notáveis dos alinhamentos retos e sua orientação azimutal – Alternativa A.	78
Quadro 6.2. – Dados iniciais para o cálculo do parâmetro A.	79
Quadro 6.3. - Coordenadas dos pontos notáveis da curva composta 1 e 2 da Alternativa A.	80
Quadro 6.4. – Coordenadas dos pontos notáveis dos alinhamentos retos e sua orientação azimutal – Alternativa B.	81
Quadro 6.5. – Coordenadas dos pontos notáveis da curva composta da Alternativa B.....	82
Quadro 6.6. – Valores necessários no cálculo da largura corrigida.....	83
Quadro 6.7. – Cotas no limite da plataforma da estrada principal na zona da obra de arte – Alternativa A.....	84
Quadro 6.8. – Parâmetros da concordância convexa existente no perfil longitudinal da estrada principal.	84
Quadro 6.9. - Cotas no limite da plataforma da estrada principal na zona da obra de arte – Alternativa B.....	85
Quadro 6.10. – Parâmetros geométricos do Ramo A e A+B1.	87
Quadro 6.11. - Distância do centro C3 ao eixo da estrada principal e secundária.	88
Quadro 6.12. – Coordenadas dos pontos notáveis do Ramo A e A+B1.....	89
Quadro 6.13. – Parâmetros geométricos do Ramo B.	91
Quadro 6.14. – Coordenadas dos pontos notáveis do Ramo B.....	92
Quadro 6.15. – Parâmetros geométricos do Ramo A+B2.....	94
Quadro 6.16. – Coordenadas dos pontos notáveis do Ramo A+B2.	95
Quadro 6.17. – Definição da equação de reta m e coordenadas do ponto X2.	96
Quadro 6.18. - Parâmetros geométricos dos Ramos A+B e C+D.....	97
Quadro 6.19. - Coordenadas dos pontos notáveis do Ramo A+B.	97
Quadro 6.20. – Parâmetros geométricos dos Ramos C e C+D1.	98
Quadro 6.21. - Coordenadas dos pontos notáveis dos Ramos C e C+D1.	99
Quadro 6.22. – Parâmetros geométricos do Ramo D.	99
Quadro 6.23. - Dados para a determinação do centro C7.	101
Quadro 6.24. - Coordenadas dos pontos notáveis do Ramo D.	102
Quadro 6.25. - Parâmetros geométricos do Ramo C+D2.	102
Quadro 6.26. - Dados para a determinação do centro C8.	103

Quadro 6.27. - Coordenadas dos pontos notáveis do Ramo C+D2.	104
Quadro 6.28. - Dados para a obtenção das coordenadas do ponto X3.	105
Quadro 6.29. - Coordenadas dos pontos notáveis do Ramo C+D.	106
Quadro 6.30. – Dados para obtenção das coordenadas do ponto X4.....	108
Quadro 6.31. - Dados necessários para o cálculo das coordenadas dos centros C1,1 e C2,1.	108
Quadro 6.32. - Áreas das ilhas direcionais da Intersecção 1.	109
Quadro 6.33. - Dados necessários para o cálculo dos centros C1,2 e C2,2.	111
Quadro 6.34. - Áreas das ilhas direcionais da Intersecção 2.	111
Quadro 6.35. - Extensão total da via de abrandamento do Ramo A incluindo o <i>taper</i>	113
Quadro 6.36. - Extensão total da via de aceleração do Ramo B incluindo o <i>taper</i>	114
Quadro 6.37. - Extensão total da via de abrandamento do Ramo C incluindo o <i>taper</i>	115
Quadro 6.38. - Extensão total da via de aceleração do Ramo D incluindo o <i>taper</i>	117
Quadro 6.39. - Cotas dos pontos notáveis do perfil longitudinal da estrada secundária.....	122
Quadro 6.40. - Dados necessários para o cálculo da concordância inicial do Ramo A.	123
Quadro 6.41. - Cotas dos pontos notáveis da rasante do Ramo A.	124
Quadro 6.42. - Cotas dos pontos notáveis da rasante do Ramo A+B.	125
Quadro 6.43. - Dados necessários para o cálculo da concordância final do Ramo B.....	126
Quadro 6.44. - Cotas dos pontos notáveis da rasante do Ramo B.	127
Quadro 6.45. - Dados necessários para o cálculo da concordância inicial do Ramo C.	127
Quadro 6.46. - Cotas dos pontos notáveis da rasante do Ramo C.	128
Quadro 6.47 - Cotas dos pontos notáveis da rasante do Ramo C+D.	129
Quadro 6.48. - Dados necessários para o cálculo da concordância final do Ramo D.	130
Quadro 6.49. - Cotas dos pontos notáveis do Ramo D.	131
Quadro 6.50. – Sobreelevação nos pontos principais do Ramo A e sua variação ao longo da extensão.	135
Quadro 6.51. - Sobreelevação nos pontos principais do Ramo B e sua variação ao longo da extensão.	136
Quadro 6.52. – Sobreelevação nos pontos principais do Ramo C e sua variação ao longo da extensão.	138
Quadro 6.53. – Sobreelevação nos pontos principais do Ramo D e sua variação ao longo da extensão.	139

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ANSR – Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária

AR – Alinhamento Reto

ASR – Auditoria de Segurança Rodoviária

CEAE – Complementos de Estradas e Aeródromos

CC – Curva Circular

CT – Curva de Transição

EN – Estrada Nacional

ENSR – Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária

EP – Estrada Principal

EP, EPE – Estradas de Portugal, Entidade Pública Empresarial

EP, SA – Estrada Portugal, Sociedade Anónima

ES – Estrada Secundária

gr. - grado

HCM – Highway Capacity Manual

IC – Itinerário Complementar

ICERR – Instituto para a Conservação e Exploração da Rede Rodoviária

ICOR – Instituto para a construção rodoviária

IEP – Instituto das Estradas de Portugal

IP – Itinerário Principal

ISCTE – Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa

JAЕ – Junta Autónoma das Estradas

km – quilómetro

Parâmetro i, j – Ponto notável; i – número do centro a que pertence; j – ramo ao qual pertence o ponto notável.

PK – Ponto Quilométrico

PNPR – Plano Nacional de Prevenção Rodoviária

PRN - Plano Rodoviário Nacional

RA – Raio mínimo absoluto

rad. – radiano

RAN – Rede Agrícola Nacional

REN – Rede Ecológica Nacional

REP – Raio de entrada pela principal

RES – Raio de entrada pela secundária

RN – Raio mínimo Normal

RTE-T – Rede Transeuropeia de Transportes

TMDA – Tráfego Médio Diário Anual

UE – União Europeia

1

INTRODUÇÃO

1.1. GENERALIDADES

As Vias de Comunicação têm, desde muito cedo, um papel importante no Mundo e na vida das pessoas. Através delas é possível encurtar distâncias entre os povos, o que inicialmente proporcionou trocas comerciais, e mais tarde, com os Romanos, tornaram-se num meio de vigilância dos territórios conquistados. Nos dias de hoje facilitam as viagens de negócio, do quotidiano e do turismo.

No entanto, só no século anterior é que as Redes de Estradas tiveram uma evolução significativa, no que diz respeito ao Projeto de uma Via de Comunicação, às diferentes fases do processo construtivo e às preocupações de impacto ambiental. Esta evolução deveu-se sobretudo a novas descobertas, ao avanço tecnológico existente, bem como ao crescimento demográfico. Procura-se sempre corresponder ao aumento da procura com a construção de mais oferta, ou seja, mais infraestruturas. Num curto espaço de tempo, verificou-se que esta ideia era insustentável, tendo em consideração os custos elevados deste tipo de infraestrutura e as difíceis condições de financiamento necessárias. Agravam esta situação as exigências cada vez mais restritivas das medidas ambientais. Esta evolução é verificada no nosso país, já que Portugal é um dos países da União Europeia com maior rede de Autoestradas ao nível de quilómetros por habitante e por área.

1.2. ÂMBITO E ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação que aqui se apresenta tem como base o Projeto de um Nó Rodoviário e, como tal, envolve os conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Vias de Comunicação: Vias de Comunicação 1, Vias de Comunicação 2 e Complementos de Estradas e Aeródromos.

Este Projeto tem como objetivo principal a definição geométrica de um Nó de Ligação. Um nó de ligação é o conjunto de ramos que permitem a ligação entre estradas que se cruzam a níveis diferentes com importância semelhante e/ou diferente. As principais finalidades são a redução ou eliminação dos pontos de conflito, o melhoramento da segurança e o aumento da capacidade. A escolha deste tema baseia-se na preferência por uma componente mais prática, em comparação com os temas das restantes teses apresentadas e a procura de novos desafios. Considerando a subjetividade inerente ao estudo de um traçado, vai ser ganha experiência na ultrapassagem das condicionantes colocadas, ao mesmo tempo, que se tomarão decisões relevantes para se alcançar o objetivo pretendido.

Assim, num Projeto Rodoviário, o objetivo é conseguir uma solução económica, integrada no meio ambiente, segura e com qualidade na circulação, com as melhores características geométricas adotadas pelo Engenheiro Rodoviário para cada situação concreta. As principais condicionantes na escolha do

traçado são o programa preliminar fornecido pelo Dono de Obra, as características técnico-geométricas, as características topográficas, hidrológicas, de ocupação do solo e geológico-geotécnicas, o impacto ambiental a causar e os fatores económicos e sociais. Ao longo das várias fases de um projeto, as principais etapas são: definição geométrica do traçado, o estudo geológico-geotécnico, as terraplenagens, a drenagem, a pavimentação, as obras de arte e a sinalização. De notar que estes condicionamentos estão relacionados entre si, podendo ser ultrapassados ao mesmo tempo, de acordo com o planeamento realizado para cada tarefa.

O presente trabalho está organizado em mais cinco capítulos. O segundo fará uma breve referência às infraestruturas em Portugal e à sinistralidade verificada nos últimos anos. O terceiro, quarto e quinto capítulos introduzem uma apresentação sobre as Normas do Traçado, as Normas dos Nós de Ligação e as Normas de Interseções, respetivamente. Estas normas foram realizadas pela ex-JAE com o objetivo de guiar os projetistas na geometrização do traçado. O sexto capítulo, de componente mais prática, será onde o autor realiza uma Memória Descritiva das várias opções tomadas ao longo do Projeto e a apresentação dos respetivos cálculos. Por fim, são apresentadas em Anexo as peças desenhadas integrando a solução final e os quadros auxiliares.

2

Pelas Estradas de Portugal

2.1. HISTÓRIA

As estradas são vias rodoviárias de comunicação terrestres que permitem ligar dois espaços (países, cidades, lugares) que correspondem a uma origem e a um destino. O seu conjunto constitui a rede de estradas de um país.

As primeiras estradas que existiram eram designadas por trilhos, usados como vias destinadas às migrações (século II a.C.). O começo da construção de estradas surge com a invenção da roda e, conseqüentemente, com o aparecimento dos primeiros veículos, mais propriamente veículos de tração animal. A partir da construção destas infraestruturas foram possíveis as primeiras transações comerciais. Na Europa, as primeiras estradas eram conhecidas como as *rotas do âmbar* que serviam para o transporte de âmbar e metais entre o Norte da Europa e o Mediterrâneo. Já nesta época, as estradas eram construídas junto aos cursos de água com sistemas de drenagem primitivos, talvez por serem zonas mais planas, isto é, de mais fácil deslocação [1].

Até ao século II, estas infraestruturas serviam, essencialmente, para trocas comerciais. Com a crescente importância do império romano, o sistema rodoviário atingiu o seu auge para aquele tempo. A principal função do sistema de estradas era a de chegar aos territórios recentemente conquistados e depois preservá-los. Neste período, os Romanos construíram perto de 85 000 km de estradas maioritariamente irradiando a partir de Roma. Daí vem o provérbio que muitos proferem: *Todos os caminhos vão dar a Roma*. Os métodos usados pelos romanos são de admirar, caracterizados pela solidez da construção, o traçado reto e as curvas com arcos de curvatura corretos. A largura da faixa de rodagem variava geralmente entre 2,5 e 4,0 metros e a espessura do pavimento tinha 1,0 a 1,5 m com camadas de pedra [1]. Uma das estruturas possíveis, de baixo para a superfície, seria um leito com terraplano e sulcos laterais para a drenagem da água; uma fundação com pedras irregulares de grandes dimensões ligados por argamassa; uma camada de cascalho e uma camada de cal hidráulica bem pisada; uma argamassa de gravilha e cal preparada a quente dispostas em camadas regulares; uma camada de pedras largas e chatas; e uma camada final, lisa, feita de cal, areia e cimento [2]. Os Romanos formaram, assim, uma rede viária planeada, objetiva e durável, de acordo com as suas necessidades.

Avançando um pouco na história e concentrando-nos em Portugal, no século XVI, o país estava mais virado para a conquista dos oceanos do que para a exploração interna do país, sendo o litoral a zona com maiores ligações, ficando o interior esquecido [3 p.13]. Apesar deste esquecimento, a Carta Militar das Principais Estradas de Portugal [4 p.8], datada de 1808, ilustra uma rede relativamente densa, embora não relevando o estado das vias. Esta situação era muitas vezes estratégica porque as vias com orientação este-oeste facilitavam uma invasão vindo do único poderoso vizinho. Mesmo as muitas estradas com essa orientação assinaladas em mapas não existiam ou, existindo, não passavam de tri-

lhos. Os invasores franceses do início do século XIX, particularmente Massena, foram vítimas desse engano. É com a rainha D. Maria que a realização de projetos de estradas e a construção de pontes ganha novo alento. Uns anos mais tarde, por volta de 1830, Costa Cabral, com uma visão diferente, refere que a quantidade não é o mais relevante e fundamental na rede de estradas, mas sim a construção com qualidade [4 p.15].

No Mundo, a partir do século XVII, surgiram os primeiros programas rodoviários ligados a dois nomes: Thomas Telford e John Loudon McAdam. São os criadores dos princípios científicos que servem de base às estradas modernas: drenagem, fundações adequadas e superfícies resistentes. O segundo nome fica ligado ao macadame, que consiste no assentamento de três camadas de pedra com ligante de saibro numa fundação com valas laterais. Eram usadas pedras quebradas ou brita dispostas em padrões simétricos, compactadas e cobertas com pequenas pedras de forma a criar uma superfície dura e, ao mesmo tempo, com capacidade de drenagem. Todo esse material pétreo tinha os seus vazios preenchidos com saibro [1]. No final da primeira metade do século XIX, com a introdução do macadame em Portugal, a deslocação tornou-se mais acessível.

O fim do governo de Costa Cabral (meados do século XIX) coincide com a época em que os caminhos de ferro começaram a ganhar importância na Europa e também em Portugal, devido à sua maior capacidade no transporte de passageiros. As linhas desenvolveram-se paralelamente aos principais eixos rodoviários, deixando a construção de estradas estagnada. Ainda nessa altura, a malha de estradas desenvolvia-se essencialmente pelo litoral [4 p.23-24]. Nos finais do século aparece uma nova tecnologia, a invenção do pneumático, que desencadeia a era do automóvel, levando as estradas em macadame a tornarem-se obsoletas [3 p.14]. O veículo pesado automóvel é a causa de toda uma reformulação das exigências para a construção de estradas. A nova construção passa pelo melhoramento dos materiais usados na pavimentação, em troços mais seguros e cómodos e uma sinalização adequada. A primeira autoestrada viria a surgir na Alemanha no ano de 1926 [1].

Porém, no início do século XX, Portugal ainda está aquém do mundo automóvel não existindo mais do que 150 unidades em todo o país. No princípio, o volante era à direita e a circulação fazia-se pela esquerda, não havendo código da estrada nem título de condução. Só a partir dos anos 30 se verificou um maior uso do automóvel, com cerca de 4 500 viaturas a circular nas estradas e um adensamento na rede rodoviária do interior. A colocação de sinalização era realizada pelo Automóvel Clube de Portugal. Só em 1928, a circulação passou a ser pela direita [3 p.15-16].

Na década de 60 começa-se a pensar no desenvolvimento da rede a nível internacional, primeiramente com Espanha através das ligações Valença – Porto – Lisboa e Albergaria-a-Velha – Vilar formoso. Ainda no mesmo ano, estavam em curso outras obras importantes: a A1, a construção da Ponte da Arrábida e a Ponte de Salazar. Em 1974, o ano da revolução, instalou-se no país um ambiente de instabilidade económica e governativa, o que induziu a fracos avanços na rede de estradas [4 p.40-41].

Nos finais da década de 80, Portugal espreitava a junção à Comunidade Económica Europeia, de forma a aproximar-se da situação financeira dos outros países membros. A adesão de Portugal e Espanha à Comunidade Europeia trouxe financiamento com o objetivo de Portugal evoluir e aproximar-se dos outros países membros e o de impulsionar o comércio, não só com o país vizinho mas também com o resto da Europa, sobretudo nas regiões de Lisboa e Vale do Tejo e o Norte [5 p.212-215].

Os Portugueses foram os principais descobridores do mundo atual através dos oceanos, devido à sua localização privilegiada. Atualmente, vêem-se como um país periférico da União Europeia, situado no canto mais a sudoeste da Europa. Porém, esta visão pode mudar, se pensarmos que somos um país central e de entrada no Oceano Atlântico, evoluindo no sentido de ser uma ponte entre a Europa por um lado e as Américas e África por outro [4 cf. p.61].

2.2. EVOLUÇÃO ADMINISTRATIVA DAS ESTRADAS DE PORTUGAL

Abordando agora o caminho percorrido pelos principais organismos administrativos que têm estado à frente da evolução da Rede Nacional, a partir do início do século XX, o primeiro organismo seria a Administração Geral de Estradas e Turismo. Em 1927 deu lugar a dois organismos: a Junta Autónoma das Estradas (JAE) e a Direção Geral de Estradas. A cargo da primeira estava a construção e reconstrução das antigas estradas, a grande reparação e a construção das obras de arte mais importantes e as pavimentações. A segunda tratava da conservação, da fiscalização, da arborização, da pequena reparação, da sinalização, do estudo e construção das EN e suas Obras de Arte. Em 1929 é feita a junção destes dois organismos por via da extinção da Direção Geral de Estradas [cf. 6]. Aquando da criação da JAE, esta apresentou em pouco tempo um estudo da condição das estradas portuguesas, referindo que aproximadamente 83% das estradas construídas estavam em muito mau estado [4 p.33].

Como era preciso agir, surgiu então o Plano Rodoviário de 1945 que continha as grandes diretrizes da política rodoviária [7]. Com este Plano, as áreas de atuação da JAE passavam pelos estudos, projetos, processos de adjudicação de obras e hierarquização das estradas [4 p.38]. Nas décadas de 50 e 60 são inaugurados os primeiros troços da Autoestrada do Norte [8]. Muito mais tarde e com a aproximação da adesão de Portugal à Comunidade Europeia, percebe-se um desajustamento do antigo Plano em relação aos avanços que os outros membros já apresentavam, em matéria de Rodovias e face às novas necessidades do tráfego. Surge então o Plano Rodoviário de 1985 com o objetivo de melhorar as acessibilidades, modernizar as infraestruturas e ordenar o território [4 p.41-49]. Logo, em conjunto com o apoio económico da Comunidade Europeia, as infraestruturas são alvo de melhoramentos.

Em 1995 é realizada uma reestruturação da JAE, concretizando-se em 1999 a sua extinção, passando a existir três institutos rodoviários: o Instituto das Estradas de Portugal (IEP), o Instituto para a Construção Rodoviária (ICOR) e o Instituto para a Conservação e Exploração da Rede Rodoviária (ICERR). O primeiro promovia e coordenava o desenvolvimento das infraestruturas rodoviárias no domínio do planeamento estratégico e na gestão de concessões. O ICOR visava a construção de novas estradas e túneis, a reformulação do traçado, a fiscalização e a assistência técnica. O ICERR era direcionado para a promoção das condições de circulação das infraestruturas rodoviárias e a sua funcionalidade [cf. 6].

Em 2002, estes três organismos são fundidos num só designado de Instituto das Estradas de Portugal (IEP), devido ao facto das funções estarem relacionadas, contribuindo para uma maior dinâmica na atividade. Em 2004, o IEP é transformado em entidade pública empresarial denominando-se de Estradas de Portugal (EP, EPE), *conservando a universalidade dos direitos e obrigações legais e contratuais, que integram a sua esfera jurídica no momento da transformação*. A EP,EPE tem como finalidade a *prestação de serviço público, em moldes empresariais, de planeamento, gestão, desenvolvimento e execução da política de infra-estruturas rodoviárias definida no Plano Rodoviário Nacional*. Em 2007, a entidade passa a sociedade anónima (S.A.), atribuindo à EP,SA a conceção, o projeto, a construção, a conservação, a exploração, a requalificação e o alargamento da Rede Rodoviária Nacional ao longo de 75 anos [cf. 6].

Paralelamente à extinção do IEP, do ICOR e do ICERR, nos finais da década de 90, é feita uma revisão do PRN de 85, saindo no Diário da República o Decreto de Lei n.º 222/98 de 17 de Julho que apresenta o Plano Rodoviário Nacional 2000. Este Plano tem como princípios a conclusão da rede fundamental, o investimento na segurança, a comodidade e a qualidade nas viagens. Aprofundando, o PRN 2000 define a Rede Rodoviária Nacional Continental constituída pela rede nacional fundamental e pela rede nacional complementar, como ilustrado na figura 2.1. Este Plano visa a reclassificação de algumas estradas, bem como a introdução de novas estradas e a criação de uma nova categoria, as estradas regionais. No atual PRN estão previstos 16 500 km de estradas nacionais e regionais, em que

3 000 km correspondem a autoestradas e 5 000 km a estradas regionais. Neste documento está presente a preocupação em termos do correto funcionamento do sistema de transportes rodoviários, da segurança rodoviária através de auditorias, da satisfação do tráfego internacional, da defesa ambiental em meio urbano, de instrumentos de informação para a correta gestão das infraestruturas e de instrumentos de ordenamento do território [cf. 9 p. 3444].

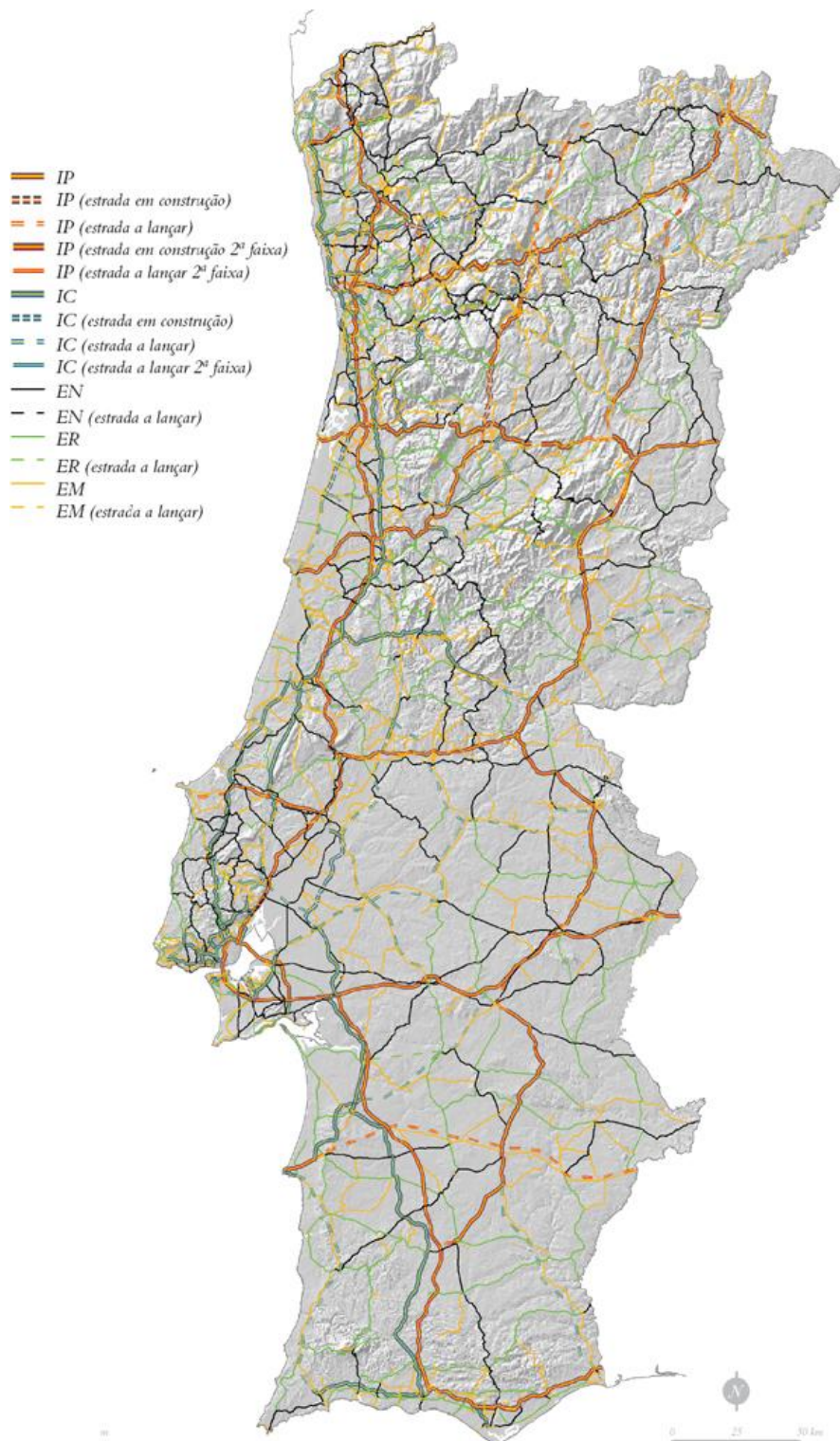


Figura 2.1. – Mapa do Plano Rodoviário Nacional, 2004 (Fonte: SNIG) [10].

A parte integrante da rede fundamental são os Itinerários Principais (IP) assegurando a ligação entre os centros urbanos de maior importância (entre distritos), e destes com os principais portos, aeroportos e fronteiras. Nestas vias de comunicação estão proibidos de circular os peões, os velocípedes e os veículos de tração animal. Por sua vez, fazem parte da rede complementar os Itinerários Complementares (IC) e as Estradas Nacionais (EN). Esta rede tem como função garantir a ligação entre a rede fundamental e os restantes centros urbanos (a nível concelhio), e o acesso às áreas metropolitanas de Lisboa e do Porto. A rede de autoestradas é formada pelas vias definidas para essa função, de acordo com a regulamentação em vigor. A Autoestrada é definida como infraestrutura rodoviária com duas faixas de rodagem separadas, com dois sentidos de circulação independentes, com duas ou mais vias por sentido, nós de ligação e intersecções desniveladas em que está proibido o trânsito a peões, animais, veículos não motorizados e motociclos [3 p.8]. O nível de serviço¹ da Rede de Estradas Nacional é definido pelo mesmo PRN 2000, mas baseado nos princípios do Highway Capacity Manual [cf. 9 p.3445].

A nova categoria introduzida tem carácter supramunicipal e complementar à Rede Rodoviária Nacional, assegurando o desenvolvimento das zonas fronteiriças, costeiras, de interesse turístico e entre agrupamentos que constituem unidades territoriais. As estradas que não estejam especificadas no PRN pertencem à categoria de Rede Municipal [cf. 9 p.3446]. A responsabilidade da Rede Municipal é feita a partir de acordos entre as Estradas de Portugal e as Câmaras Municipais com objetivo de conservação dessas estradas [4 p.9-10].

2.3. REDE DE ESTRADAS NACIONAIS NO CONTEXTO EUROPEU

A Rede Transeuropeia de Transportes (RTE-T), ilustrada na figura 2.2, foi criada com o intuito de garantir a mobilidade às pessoas e bens, dentro da Europa, através dos diferentes meios de transporte existentes na rede. Tenta, assim, dar cobertura total do território europeu com infraestruturas de qualidade, seguras e interoperáveis entre si. A rede está a cargo da Agência de Execução da Rede Transeuropeia de Transportes que tem como finalidade assegurar a gestão técnica e financeira dos projetos de infraestruturas e a implementação do programa da RTE-T, atendendo a aspetos de segurança, económicos, sociais, ambientais e de eficiência energética [11 p.1-5].

Assim, a Rede Transeuropeia de Transportes é constituída pelas infraestruturas que permitem a movimentação de pessoas e mercadorias, tais como estradas, caminhos de ferro, vias marítimas, portos, aeroportos, via aéreas, plataformas intermodais e condutas de transporte de bens. A Rede Rodoviária é composta por Autoestradas, Estradas de Alta Qualidade² e Estradas Correntes³ que, através de um sistema de informação aos utentes, permite uma gestão da circulação capaz de garantir um nível de serviço homogéneo e constante, conforto e segurança [11 p.1-5].

Na execução da rede estão previstos dois níveis de planeamento: uma Rede Base, a concluir até 2030, de carácter económico, social e territorial composta por eixos e nós estratégicos que viabilizem o transporte na UE, no mercado interno e com outras regiões vizinhas; e uma Rede Global, a concluir até 2050, de acesso à Rede Base, fortalecendo o mercado interno [cf. 11 p.6].

¹ Nível de Serviço – Medida qualitativa das condições de circulação permitidas aos usuários de uma dada infraestrutura rodoviária.

² Estradas de Alta Qualidade – *Infra-estruturas viárias dotadas de nós desnivelados e reservadas ao trânsito automóvel, que não se integram na Rede Nacional de Auto-estradas* [11 p.13].

³ Estradas correntes – *as que não se enquadram em nenhum dos outros tipos* [11 p.13].



Figura 2.2. – Componente rodoviária da Rede Transeuropeia de Transportes em 2011 [11 p.9].

As rodovias portuguesas integrantes da RTE-T apresentam cerca de 2 720 km de estradas, repartidos entre IPs, maioritariamente, e ICs. Em Portugal, no que se refere à gestão e financiamento da rede, as três principais empresas às quais as estradas estão concessionadas são a Brisa, as EP (que as subconcessiona) e a Ascendi [cf. 11 p.9-11].

O desenvolvimento da RTE-T que a UE espera é um aumento das Autoestradas e Estradas de Alta Qualidade e uma diminuição das Estradas Correntes. Em Portugal, desde cedo, se verificou essa alteração, uma vez que no ano 2004 já estava acima da média da EU, no que se refere à construção de autoestradas. Grande parte dessas construções fora realizada nos últimos 15 anos, dando prioridade às ligações diretas com a Europa [cf. 11 p.12-14].

Até este ponto pode-se afirmar que Portugal é um dos países europeus mais bem equipados em termos de infraestruturas rodoviárias, mas será que o nível de serviço prestado é o melhor? Antes de mais, os IPs e ICs são eixos cujos níveis de serviço a garantir são o A, B ou C. As diferentes intervenções na rede, desde 2004, permitiram uma melhoria do nível de serviço, com uma Rede de IPs e ICs, no ano

2010, a apresentar 88% da rede com os níveis de serviço prescritos. O nível de serviço só é comprometedor quando as vias se localizam nas áreas metropolitanas de Lisboa e Porto [cf. 11 p.17-18].

Em relação ao tráfego que circula na rede, é de esperar uma maior concentração nas áreas metropolitanas de Lisboa e Porto, visto serem as áreas com nível de serviço mais deficitário, com um Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) superior a 60 000 veículos. Em relação à evolução da TMDA, este tem uma tendência decrescente devido à existência de eixos paralelos não pertencentes à RTE-T. Quanto ao tráfego de pesados, este é mais frequente no interior do país e junto às fronteiras, devido à perifericidade de Portugal em relação à Europa. No entanto, nota-se de igual modo, um decréscimo da utilização da RTE-T por esta categoria de veículos, também devido às alternativas que os eixos paralelos facultam na movimentação dentro do país. Os principais eixos de transporte que fazem fronteira com Espanha são: Valença do Minho – Tuy (A3/IP1), Vila Verde de Raia – Verin (A24/IP3), Quintanilha – San Martin de Pedrosa (IP4), Vilar Formoso – Fuentes de Ónoro (A25/IP5), Caia – Badajoz (A6/IP7), Vila Verde de Ficalho – Rosal de la Frontera (IP8) e Monte Francisco – Ayamonte (A22/IP1). Aqueles pontos da rede que contabilizam maiores movimentos em termos de TMDA são, em 2010, o de Valença, Caia, Vilar Formoso e Monte Francisco, como podemos observar na figura 2.3 [11 p.21-36].

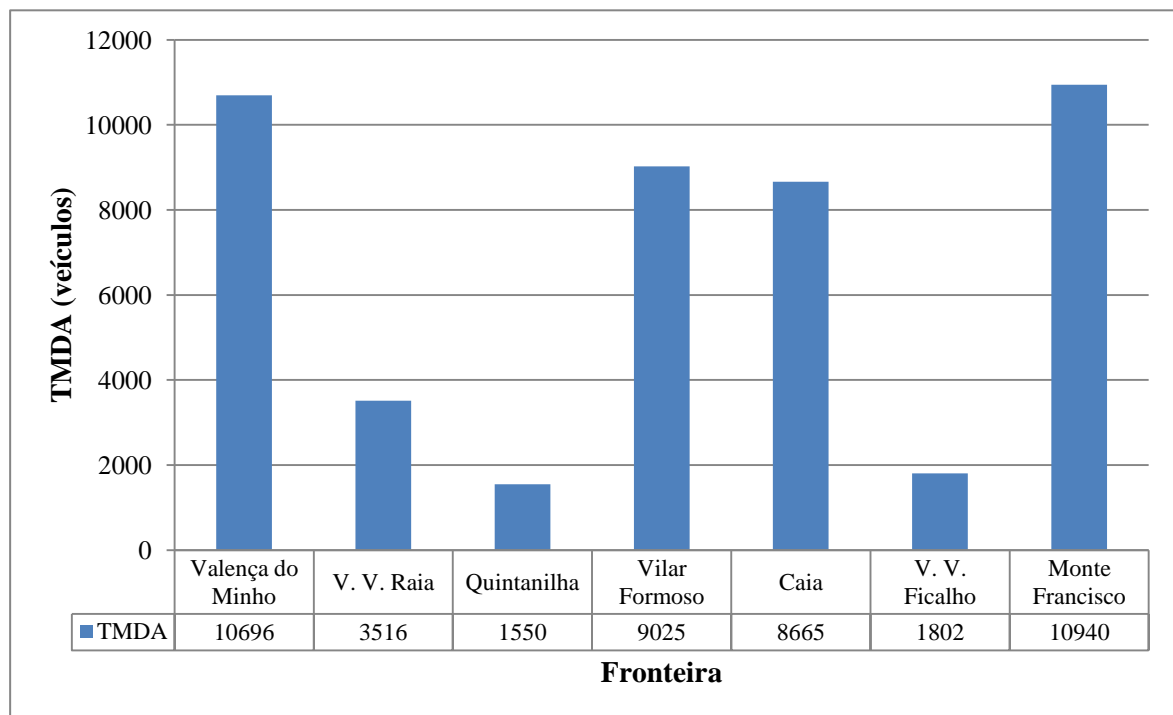


Figura 2.3. – Tráfego Médio Diário Anual nas principais fronteiras de Portugal no ano 2010, em veículos/dia [11 p.27-35].

2.4. SINISTRALIDADE RODOVIÁRIA EM PORTUGAL

Atualmente, dos vários meios de transporte, o rodoviário é o mais acessível, pessoal, autónomo e economicamente viável para grande parte da população. Porém, também é o que provoca mais perdas de vidas humanas. No âmbito europeu, segundo o Programa de Ação para a Segurança Rodoviária (2003-10), a Comissão Europeia propôs um conjunto de medidas que teriam como objetivo principal reduzir para metade o número de vítimas mortais em acidentes rodoviários na União Europeia, até 2010 [cf. 12]. O quadro 2.1 apresenta o número de vítimas mortais na Europa e em Portugal, no período do pla-

no supra referido. Em 2003, a UE 27 registrou 50 351 vítimas mortais e 34 500 vítimas em 2009, verificando-se um decréscimo de 31% [cf. 13].

Quadro 2.1. – Número de vítimas mortais na Europa dos 27 e em Portugal desde 2001 até 2009 (Fonte: Eurostat) [13].

Ano	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009 ⁴
Europa 27	54302	53342	50351	47290	45346	43104	42496	38875	34500
Portugal	1670	1655	1542	1294	1247	969	974	885	840

Ainda assim, Portugal foi um dos países da UE que se destacou, conseguindo no mesmo período uma redução de 46%. Por sua vez, o número de vítimas mortais por milhão de habitante também diminuiu, embora tenha ficado acima da média da UE, com 79 vítimas em 2009 [14 p.4161-4162]. A figura 2.4 representa a evolução do número de vítimas mortais em Portugal e a sua comparação com a Europa 27. Na aproximação da data final do programa, a Comissão Europeia aceitava o facto do objetivo não ter sido alcançado [cf. 12].

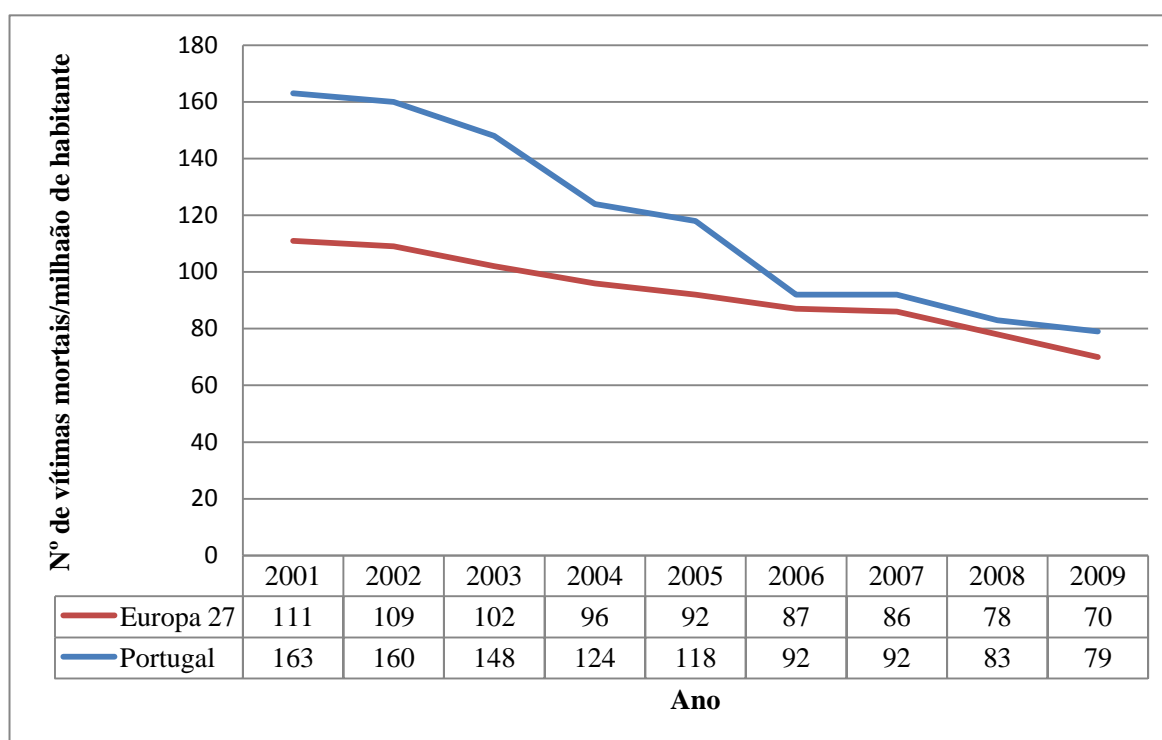


Figura 2.4 – Evolução do número de vítimas mortais na Europa dos 27 e em Portugal desde 2001 até 2009 (Fonte: Eurostat) [13]

A nova política de segurança rodoviária (2011-20) visa prover *uma base geral e objetivos competitivos na orientação de estratégias nacionais e locais, de acordo com o princípio de subsidiariedade*, ou seja, no qual a União Europeia pode auxiliar. Assim, a Comissão destaca a troca de melhores práticas em toda a UE, a adoção de estratégias que reduzam o número de vítimas nas estradas e um melhora-

⁴ Valores estimados para o ano de 2009

mento da segurança dos condutores. A Comissão apresenta ainda sete objetivos de ação conjunta a nível da UE e a nível nacional [cf. 12]:

- *Melhorar a educação e a aprendizagem dos condutores;*
- *Aumentar o cumprimento das regras rodoviárias;*
- *Infra-estruturas rodoviárias mais seguras;*
- *Veículos mais seguros;*
- *Promover o uso de tecnologia moderna para aumentar a segurança rodoviária;*
- *Melhorar serviços de emergência;*
- *Protecção dos condutores vulneráveis*⁵.

Ao mesmo tempo do funcionamento deste Programa, cada país pertencente à UE deve desenvolver os seus planos de segurança rodoviários com objetivos próprios a cada situação [12].

De acordo com a Lei nº 31/2007, de 10 de Agosto, a Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR) juntamente com o Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa (ISCTE), elaborou a Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária (ENSR) para 2008-15. Este Plano apresenta duas partes: a Parte I, na qual se define a ENSR para o período referido, enquadra a sinistralidade no contexto europeu, fornece uma visão da situação atual e apresenta os objetivos estratégicos; a Parte II aborda o desenvolvimento da ENSR, continuando os objetivos estratégicos ao propor ações chave. Estes objetivos foram estabelecidos a partir da análise conjunta da evolução recente dos padrões de sinistralidade em Portugal e da evolução verificada noutros países, que tinham em 1999 indicadores semelhantes aos de Portugal [14 p.4160-4161].

Este Plano vem no seguimento do Plano Nacional de Prevenção Rodoviária (PNPR), no qual o objetivo geral era a redução de 50% do número de vítimas mortais e feridos graves até 2010. No ano 2009, como foi referido acima, Portugal fazia parte dos países da União Europeia com melhores resultados em termos de sinistralidade rodoviária. Desde 2001 até 2009, essa redução tem sido significativamente positiva, posicionando Portugal no 15º lugar na tabela da Europa 27 [14 p.4161-4162].

No desenvolvimento da ENSR, os principais fatores tidos em conta foram a acalmia de tráfego, o controlo da condução sob o efeito de álcool e substâncias psicotrópicas, a formação e a avaliação do título de condução, a auditoria das vias e a inspeção da sinalização. Os objetivos quantitativos a atingir são repartidos em dois períodos em que é proposto [cf. 14 p.4162-4163]:

- 78, o número de mortos por milhão de habitante até 2011;
- 62, o número de mortos por milhão de habitante até 2015.

Ao circular nas estradas não estamos protegidos das falhas de conceção e de manutenção da estrada. Mas, ao adicionar a isto os erros individuais dos condutores, obtém-se a causa dos acidentes mortais. Um local é designado de *ponto negro* da estrada se várias vidas forem perdidas nesse quilómetro. No sentido de minimizar estas falhas, a Auditoria de Segurança Rodoviária (ASR) é uma solução que pode ser realizada ao mesmo tempo que o projeto e a construção da estrada. Uma ASR não é mais de que um conjunto de ações destinadas a combater a sinistralidade rodoviária no planeamento e projeto de estradas, com o intuito de reduzir o risco de acidentes e as respetivas consequências. Podem ser usadas nos projetos de construção de novos traçados ou na intervenção em estradas existentes. Este processo pode ser aplicado a dois níveis, estratégico ou de planeamento, sendo três os intervenientes: o dono de obra, o projetista e o auditor [cf. 15].

⁵ Entenda-se com condutores vulneráveis os peões.

No período de exploração da infraestrutura, outras medidas mitigadoras que se podem implementar nas zonas com maior frequência de acidentes são: bandas sonoras, sinalização vertical adequada, marcação rodoviária, iluminação pública nas zonas de maior conflito especialmente de noite, melhoria das condições de visibilidade, melhoria das superfícies dos pavimentos e a canalização das correntes de tráfego [16 p.22].

3

Geometria do Traçado – Normas

3.1. INTRODUÇÃO

As Normas do Traçado aplicam-se a toda a Rede Rodoviária Nacional e são a base mínima dos estudos de projetos de estradas. Não é objetivo desta dissertação abordar todos os pontos descritos na respetiva Norma, mas sim aqueles que foram utilizados no projeto.

A geometrização de um projeto rodoviário tem por base diversos elementos, tais como o tráfego existente e/ou futuro, os acessos, a integração paisagística, a velocidade e a visibilidade. Segundo o artigo 7º do DL 222/98 de 17 de Julho, os IPs e ICs devem ser vedados proibindo assim o acesso à respetiva infraestrutura a não ser pelas vias destinadas a esse efeito [9]. De modo a reforçar esta ideia, a Norma propõe ainda o revestimento de cada um dos lados exterior à faixa de rodagem com vegetação apropriada. A passagem de um lado para o outro será realizada por passagens superiores ou inferiores para veículos motorizados. No que diz respeito às passagens pedonais, também podem ser superiores ou inferiores dependendo das necessidades atuais e futuras da população. As passagens inferiores são as preferidas dos peões porque, em termos psicológicos, é mais atrativo começar a descer do que subir e porque o desnível a vencer é menor, da ordem dos 3,0 m. As passagens superiores têm de garantir pelo menos um gabarito de 5,0 m devido à altura dos veículos pesados. Quanto ao custo por m², normalmente estas são mais baratas que as inferiores [17]. Na visão do autor, as passagens inferiores são preferíveis às superiores, pois estão ligadas a um nível de segurança pessoal reduzido nas horas de menor movimento e de noite.

O projetista deve tentar que os principais elementos do projeto, a diretriz, o perfil longitudinal e o perfil transversal, se integrem com o meio envolvente de modo a que o utente perspetive uma vista agradável, harmoniosa e confortável ao longo do percurso. Assim, na definição do projeto, segundo a Norma, devem ser considerados alguns dos seguintes aspetos: preservação do ambiente natural, traçado em planta e perfil coordenado, conservação da vegetação de modo a facilitar a visibilidade aos condutores, taludes suavizados e revestidos e dispositivos de drenagem adequados e eficazes [18].

3.2. ELEMENTOS BÁSICOS

Na definição dos elementos do traçado a velocidade é fundamental no seu estudo. Ao longo deste são usadas diferentes definições de velocidade devido ao facto da utilização de cada uma delas ser a mais apropriada, no que diz respeito à definição dos elementos da diretriz e à visibilidade. Assim, temos três tipos de velocidade: a velocidade base, a velocidade específica e a velocidade do tráfego.

A velocidade base é a velocidade máxima que deverá ser assegurada ao longo de todo o traçado. Permite a caracterização da maior parte das características geométricas dependendo da estrada a dimensionar. A velocidade específica é a velocidade máxima que pode ser obtida em segurança em qualquer elemento do traçado, considerado isoladamente. Ao contrário da velocidade base, esta varia ao longo do traçado, sendo maior em alinhamento reto e menor em curva (e reduzindo-se nesta com a redução do raio), sendo fundamental na definição das características de visibilidade dos nós de ligação. Porém, não seria prático considerar a velocidade específica em cada elemento do traçado. Surgiu, então, o conceito de velocidade do tráfego, representativa da velocidade específica e que corresponde à velocidade excedida somente por 15% dos veículos [cf. 18 p.21-22].

Como seres racionais somos todos diferentes, com comportamentos diferentes, o que significa que reagimos de maneira diferente perante uma mesma situação. Isto acontece ao longo do percurso de uma estrada pois cada um de nós adota velocidades diferentes conforme o traçado (visibilidade reduzida, curvatura, estado do pavimento, intersecções), o meio envolvente e estado de espírito. Não fazia então sentido, dimensionar para todas as velocidades, pois tornava-se antieconómico e um desperdício de tempo. Como referido acima, dependendo do tipo de estrada a projetar, a velocidade base apresenta diferentes valores. A Norma indica essas velocidades num quadro idêntico ao 3.1. No mesmo quadro apresenta-se a velocidade do tráfego para uma dada velocidade base⁶. Como já foi referido, a velocidade a adotar depende das características geométricas que estamos a estudar. O quadro 3.2 expõe a velocidade que devemos considerar no estudo dos diferentes elementos do traçado.

Quadro 3.1 – Velocidade Base e Velocidade do Tráfego nas estradas da RRN [cf. 19 p.10]

Velocidade Base (VB) (km/h)	Velocidade do Tráfego (VT) (km/h)
40	50
50	60
60	80
70	90
80	100
90	110
100	120
110	125
120	130
130	135
140	140

⁶ Ao nível do projecto, a velocidade do tráfego é calculada a partir da velocidade base. No caso da Norma do Traçado estabeleceu-se uma relação teórica entre a velocidade base e a do tráfego, o que corresponde a considerar que o coeficiente de variação da distribuição é constante para toda a rede rodoviária [cf. 19 p.8].

Quadro 3.2. - Velocidade a considerar nos vários elementos do traçado [cf. 18 p.25]

Elementos do Traçado	Velocidade (km/h)	
	Velocidade Base	Velocidade do Tráfego ⁷
Raio mínimo em planta	✓	-
Trainel máximo	✓	-
Perfil transversal tipo	✓	-
Distância de visibilidade	-	✓
Raio mínimo das concordâncias verticais	-	✓

Outro parâmetro fundamental que influencia o modo como o condutor se comporta na estrada e a sua segurança é a visibilidade. É esta que permite ao condutor avaliar a distância necessária para proceder às mudanças de velocidade face a um obstáculo. Existem três tipos de distâncias de visibilidade que devem ser, se possível, asseguradas: de paragem (DP), de decisão (DD) e de ultrapassagem (DU), sendo sempre o melhor considerar uma distância de visibilidade maior que a mínima [cf. 18 p.25].

A distância de visibilidade de paragem, como o próprio nome indica, é a distância necessária para o condutor imobilizar o veículo após avistar um obstáculo, ao circular a uma dada velocidade. É medida a 1,05 m acima do pavimento para um obstáculo com 0,15 m de altura. A expressão que traduz a DP toma em consideração o tempo perceção/reacção do condutor e a distância de frenagem [cf. 18 p.26].

A distância de visibilidade de decisão aparece quando o traçado não está de acordo com a expectativa do condutor, precisando este de tempo para compreender a informação fornecida. A expressão que traduz a distância de visibilidade de decisão é empírica e função da velocidade do tráfego [cf. 18 p.27].

A distância de visibilidade de ultrapassagem é a mínima distância que um condutor precisa para ultrapassar outro veículo em segurança e comodidade, sendo apenas considerada nas estradas com duas vias. Embora seja uma manobra que está dependente de vários fatores (velocidade, condutor, aceleração, etc.), o seu valor é, geralmente, de sete vezes a velocidade do tráfego⁵ [cf. 18 p.27-28].

3.3. TRAÇADO EM PLANTA

3.3.1. DEFINIÇÃO

O traçado em planta é composto de alinhamentos retos, curvas circulares e curvas de transição que permitem a continuidade de curvaturas e tangentes entre os dois primeiros elementos.

3.3.2. ALINHAMENTOS RETOS

A Norma sugere que alinhamentos retos muito extensos são indesejáveis visto o tempo de encadeamento ser mais elevado, propiciar a monotonia na condução e condições agravadas se as inclinações longitudinais forem constantes. A extensão máxima varia com a velocidade base. Por outro lado, também convém que a sua extensão não seja diminuta por razões de comodidade ótica e, em caso de ser possível a ultrapassagem, deve ter extensão suficiente. A Norma ainda sugere a não coincidência da

⁷ Esta velocidade só será considerada nos IPs e ICs [cf. 18 p.25]

diretriz com a direção nascente/poente devido ao crepúsculo que causa o encadeamento natural provocado pelo sol. No quadro 3.3 apresentam-se os valores indicativos das extensões mínimas e máximas, calculadas com a seguinte expressão (3.1) [cf. 18 p.32-33]:

$$6 \times VB \leq \text{Extensão} \leq 20 \times VB \quad (3.1.)$$

Quadro 3.3. – Extensão mínima e máxima dos alinhamentos rectos [cf. 18 p.42]

Extensão (m)	Velocidade Base (km/h)										
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Mínima ⁸	-	-	360	420	480	540	600	660	720	780	840
Máxima	-	-	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800

3.3.3. CURVAS CIRCULARES

O próximo elemento são as curvas circulares que devem ter um raio com o qual se obtenha um traçado homogéneo, harmonioso, coordenado com o perfil longitudinal e maior que o mínimo para não prejudicar a visibilidade aos condutores. Por razões de segurança, económicas e de conforto ótico, os raios de curvas circulares consecutivas devem obedecer ao diagrama representado na figura 3.1. O desenvolvimento mínimo de uma curva circular é aquele que permite percorrê-la em mais de dois segundos. Ainda de notar que em *casos em que curvas circulares consecutivas sejam do mesmo sentido, deve existir um alinhamento reto entre elas com uma extensão mínima igual à distância percorrida durante cinco segundos à velocidade específica correspondente ao maior valor dos raios. Se tal não poder ser executável, as duas curvas devem ser substituídas por uma única* [cf. 18 p.35]. Este último preceito, muito antigo e mais apropriado a curvas sem clotóides foi perdendo relevância.

⁸ Estes valores são indicativos [cf. 18 p.42].

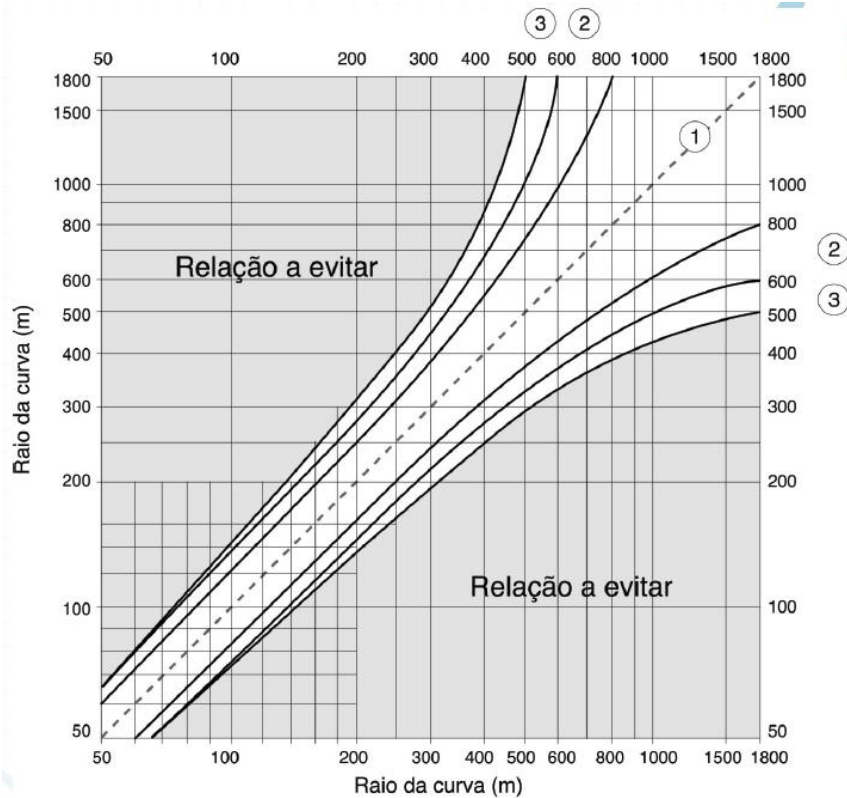


Figura 3.1. - Combinação de raios desejável (1 - relação muito boa; 2 - relação boa; 3 - relação aceitável) [19].

Os raios regulamentares dividem-se em Raio Mínimo Absoluto (RA) e Raio Mínimo Normal (RN). O veículo ao começar a descrever uma curva fica sujeito a uma aceleração centrífuga, como que sendo atirado para fora da estrada. Esta aceleração lateral traduz-se numa força que precisa de ser equilibrada através de uma sobrelevação constante ao longo de toda a extensão da curva circular e de um coeficiente de aderência transversal, que exprime a resistência que o pneu oferece ao deslizar transversalmente no pavimento. A expressão que permite relacionar o raio com estes elementos deriva da segunda lei de Newton e é apresentada na equação 3.2 [20].

$$R = \frac{V^2}{127 \times (f_t + S_e)} \quad (3.2.)$$

Os parâmetros a limitar serão a sobrelevação e o coeficiente de aderência. Atualmente, a sobrelevação vem limitada a 7%, embora o seu valor desejável seja de 5%. O coeficiente de aderência mínimo que temos perante uma situação atmosférica desfavorável é na presença de gelo na estrada em que o coeficiente de aderência pneus/pavimento é inferior a 0,1 [20].

O RA garante a segurança enquanto o RN garante também a comodidade, pelo que deve ser sempre o desejável a utilizar. Por razões de comodidade, a aceleração radial máxima prevista é de $0,22 \times g$ no cálculo do RA e de $0,11 \times g$ no cálculo de RN. Assim, no cálculo do raio mínimo será preciso cumprir tanto a fórmula da derrapagem (3.2), como a da aceleração radial (3.3 ou 3.4), tomando o valor mais desfavorável, ou seja, o maior dos dois. Para $VB \geq 80$ km/h, o valor do raio devido à aceleração radial diminui, sendo o critério da derrapagem o condicionante no cálculo do raio. No quadro 3.4 são apre-

sentados os valores dos raios em função da velocidade base e do valor máximo do coeficiente de atrito transversal atribuído pelas normas para essa velocidade.

$$\frac{VB^2}{3,6^2 \times R} \leq 0,22 \times g \quad (3.3.)$$

$$\frac{VB^2}{3,6^2 \times R} \leq 0,11 \times g \quad (3.4.)$$

Quadro 3.4. - Valores dos Raios Mínimos Absoluto e Normal e respetivo coeficiente de aderência transversal implícito nas Normas [cf. 18 p.36; 20]

Velocidade Base (km/h)	Raio Mínimo Absoluto (m)		Raio Mínimo Normal (m)	
	f_t	RA para $S_e = 7\%$	f_t	RN para $S_e = 5\%$
40	0,16	55	0,06	110
50	0,16	85	0,06	180
60	0,15	130	0,06	250
70	0,14	180	0,06	350
80	0,14	240	0,06	450
90	0,13	320	0,06	550
100	0,12	420	0,06	700
110	0,1	560	0,06	850
120	0,09	700	0,06	1000
130	0,08	900	0,06	1200
140	0,06	1000	0,06	1400

3.3.4. CURVAS DE TRANSIÇÃO

Para que a passagem de alinhamento reto para a curva circular não se efetue de forma brusca, em que o condutor sente essa mudança, são introduzidas curvas de transição osculadoras ao alinhamento reto e à curva circular, de maneira a não se perder a continuidade do traçado em termos de curvatura e de tangentes. Assim, as principais funções das curvas de transição são [cf. 18 p.36]:

- *Assegurar a variação contínua da aceleração centrífuga entre os alinhamentos rectos e as curvas circulares, a qual não deve exceder uma taxa de $0,5 \text{ m/s}^3$ por razões de segurança e comodidade;*
- *Permitir efetuar convenientemente a transição da sobrelevação e da sobrelargura;*
- *Melhorar a comodidade e perspetiva ótica do traçado, pelo que o ângulo de deflexão deve ser no mínimo 3,5 graus;*
- *Garantir que a extensão do arco de clotóide é, pelo menos, de $2 \times VB$.*

A curva indicada pela Norma é a radióide dos arcos ou, simplesmente, a clotóide, caracterizada pela equação 3.5. Na figura 3.2 está a representação esquemática da clotóide. A clotóide é osculadora ao alinhamento reto com raio igual a ∞ e osculadora à parte circular de raio R . Este aumento de curvatura é feito linearmente ao longo do seu desenvolvimento, proporcionando uma variação gradual da aceleração radial e limitando a sobreaceleração, contribuindo favoravelmente para uma condução mais segura e cómoda [20].

$$A^2 = r \times l \quad (3.5.)$$

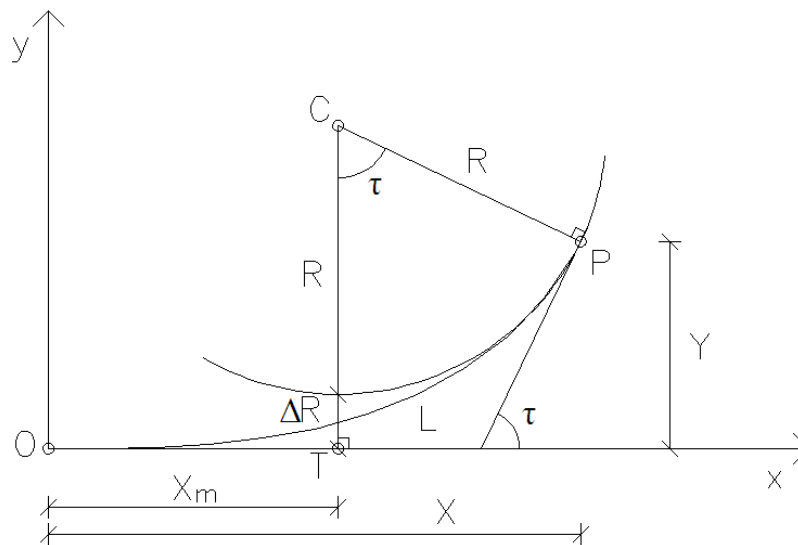


Figura 3.2. - Representação esquemática da clotóide e dos seus elementos.

em que,

C – centro da curva circular;

R (m) – raio da curva circular;

L (m) – extensão da clotóide;

ΔR (m) – ripagem;

τ (grados) – ângulo que a tangente à curva, faz em qualquer ponto, com o alinhamento reto osculador;

X (m) – abcissa do último ponto da clotóide no sistema de eixos convencional com origem em O.

Y (m) – ordenada do último ponto da clotóide no sistema de eixos convencional com origem em O.

O cálculo do parâmetro A é assegurado através da condição de implantação e dos critérios de dimensionamento. A primeira vem de verificar a possibilidade de implantação da clotóide definida pelo seu desenvolvimento L e pelo raio da curva circular R e, simultaneamente, cumprir os critérios de dimensionamento. O ângulo τ pode relacionar-se com o ângulo de desvio Ω , de qualquer destas três formas:

- Caso 1: $\tau < \Omega/2$
- Caso 2: $\tau = \Omega/2$
- Caso 3: $\tau > \Omega/2$

Analisando os três casos, o terceiro não é solução pois provoca um corte na bissetriz devido ao desenvolvimento das curvas de transição ser maior que o espaço disponível. Restam os dois primeiros casos, em que no primeiro existem duas curvas de transição unidas por uma curva circular de desenvolvimento $d = (\Omega_{rad} - 2 \times \tau_{rad}) \times R$ e no segundo, essa curva circular não existe, sendo a concordância entre os alinhamentos retos feita por dois arcos de clotóide simétricos em relação à bissetriz [20]. A primeira condição no cálculo do parâmetro A será, assim:

$$A_{implantação} \leq R \times \sqrt{\Omega_{rad}} \quad (3.6.)$$

Os critérios de dimensionamento têm por finalidade proporcionar uma condução segura e cômoda, garantir uma boa visibilidade da estrada e assegurar o disfarce da sobrelevação. Assim, existem quatro critérios que se devem satisfazer:

1. Critério de Comodidade e Segurança

Este critério procura limitar a sobreaceleração normal a $0,5 \text{ m/s}^3$, recomendando a Norma que esta seja calculada através da expressão: $S_{an} = V^3/A^2$. A expressão apresentada pela Norma não entra em consideração com o efeito positivo da sobrelevação, dando origem a uma expressão para o cálculo do A, modificada, e tendo em conta esse fator [20]:

$$A_1 \geq \sqrt{\frac{VB \times R}{46,656 \times S_{an}} \times \left(\frac{VB^2}{R} - 127 \times (S_e - i) \right)} \quad (3.7.)$$

2. Critério do Disfarce da Sobrelevação

O desenvolvimento da sobrelevação depende da extensão da curva de transição, da largura da faixa de rodagem (a) em relação ao eixo de rotação e da inclinação longitudinal do bordo exterior da faixa de rodagem. As Normas do Traçado recomendam que o disfarce se realize ao longo da clotóide, mas partindo desde o início com um perfil sobreelevado. Ou seja, é necessário proceder antes do início da curva de transição a uma variação do perfil a duas águas característico dos alinhamentos retos para o perfil sobreelevado [20]. Este assunto será abordado mais profundamente no subcapítulo 3.6. Para já, a expressão que condiciona o disfarce da sobrelevação é:

$$\sqrt{\frac{R \times a \times (S_e - i)}{2 \times \Delta i_{máx}}} \leq A_2 \leq \sqrt{\frac{R \times a \times (S_e - i)}{2 \times \Delta i_{mín}}} \quad (3.8.)$$

3. Critério Estético

As curvas de transição com extensão diminuta são esteticamente desagradáveis. Logo, a fim de tal não se verificar a curva deve ter uma extensão em que o seu percurso se faça em pelo menos dois segundos, à velocidade base [20]. O parâmetro A vem:

$$A_3 \geq \sqrt{\frac{R \times VB}{1,8}} \quad (3.9.)$$

4. Critério da Comodidade Ótica

Com o objetivo de assegurar uma boa percepção ótica das curvas de transição e da curva circular, as Normas do Traçado obrigam a que o ângulo das tangentes, τ , seja no mínimo de 1/18 radianos, vindo o parâmetro [20]:

$$A_4 \geq \frac{R}{3} \quad (3.10.)$$

O parâmetro a utilizar deverá respeitar simultaneamente os critérios de dimensionamento e de condição de implantação, como ilustrado na figura 3.3. Poderá acontecer o parâmetro situar-se num intervalo largo de valores, sendo nesta situação recomendável que o desenvolvimento da curva esteja entre 1/2 e 2/3 do desenvolvimento total da curva [20]. Assim, e designando esta condição como desejável, o parâmetro A vem:

$$R \times \sqrt{\frac{\Omega_{rad}}{3}} \leq A_{desejável} \leq R \times \sqrt{\frac{\Omega_{rad}}{2}} \quad (3.11.)$$

Esta condição deve ser cumprida desde que o intervalo dado se situe entre os valores dos intervalos obrigatórios.

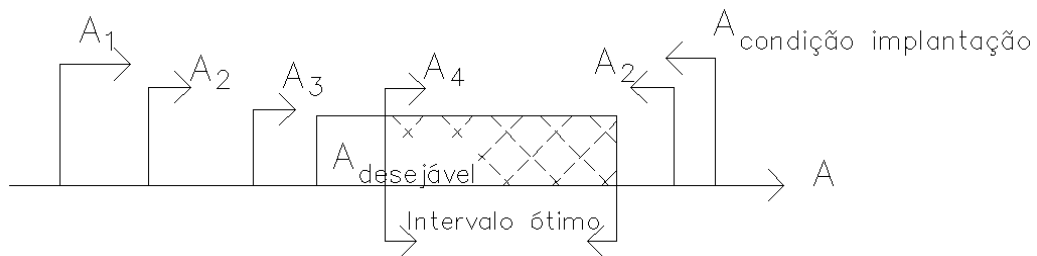


Figura 3.3 - Representação do intervalo ótimo no qual deve estar situado o parâmetro A

A não utilização de curvas de transição é possível sempre que o raio da parte circular seja suficientemente elevado para não precisar de sobrelevação ($R > 2500$ ou $R > 5000$ conforme a estrada seja de 2 vias ou de faixas separadas, respetivamente).

3.3.5. VISIBILIDADE

Além de ser garantida nos alinhamentos retos, a distância de visibilidade de paragem também deve ser assegurada em curva, devendo o raio mínimo ser determinado em função dessa distância se estivermos perante restrições de visibilidade lateral, tais como o pilar de uma estrutura, a parede de um túnel, um talude de escavação, uma barreira acústica, construções, etc.. A distância livre de obstáculos é medida

entre o eixo da via interior e o meio da obstrução, a 0,60 m de altura desta. A distância mínima de obstrução pode ser calculada através da figura 3.4, conhecendo o raio da curva e a velocidade do tráfego ou de base [cf. 18 p.45].

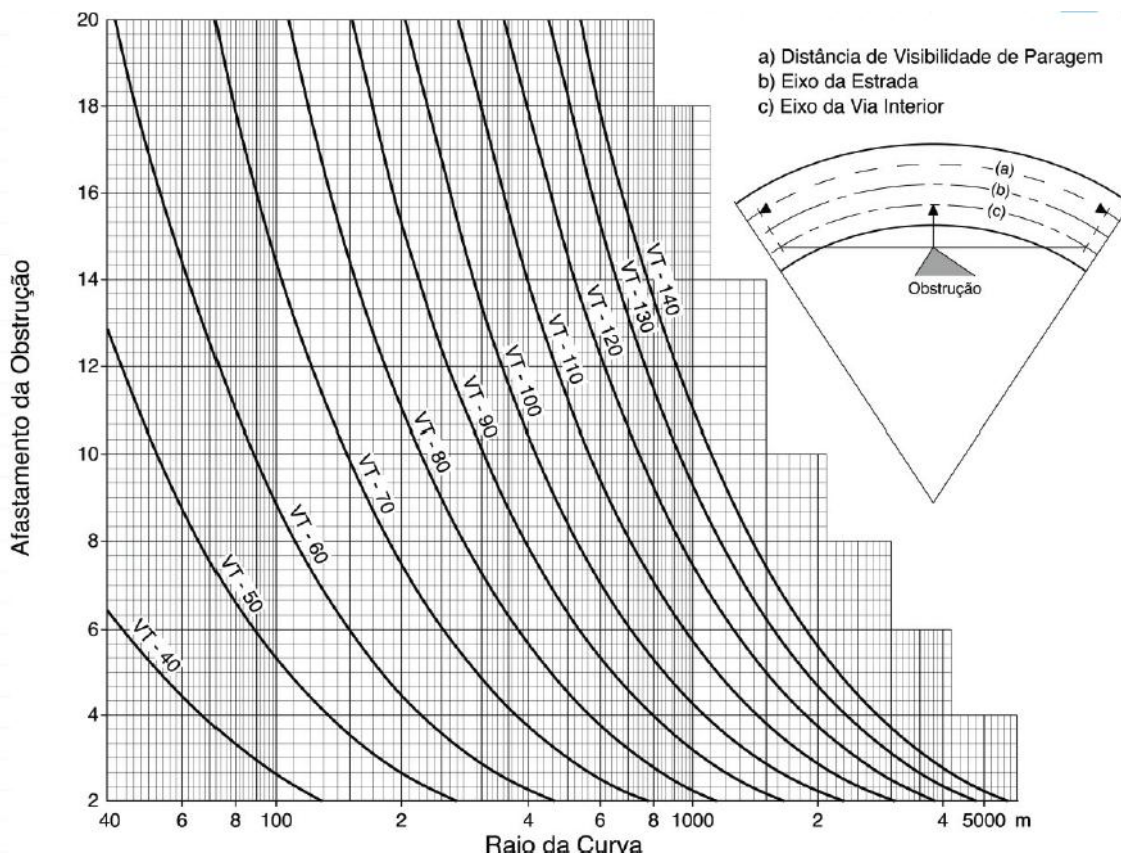


Figura 3.4. - Visibilidade nas curvas em função da Velocidade do Tráfego ou da Velocidade Base, se não for IP e/ou IC (km/h) (Afastamento da obstrução em metros) [19]

Como já referido, é importante a compatibilidade entre o meio ambiente e o traçado, devendo respeitar-se as seguintes recomendações, sempre que possível [cf. 18 p.47-48]:

- Não utilizar os raios mínimos absolutos;
- Uma curva de pequeno raio nunca deve localizar-se a seguir a um alinhamento recto extenso;
- Variações bruscas do valor do raio devem ser evitadas;
- Redução gradual dos raios a seguir a um alinhamento recto extenso;
- Não se devem adoptar curvas de pequeno raio em aterros com cotas elevadas;
- Devem-se evitar mudanças bruscas de direcção de traçado, permitindo a introdução das clotóides com a extensão necessária entre duas curvas circulares;
- As curvas circulares em planta devem condicionar as concordâncias verticais.

3.3.6. REVISÃO TEÓRICA DAS COORDENADAS E ORIENTAÇÕES E DA PIQUETAGEM DOS ELEMENTOS DA DIRETRIZ

Quanto aos alinhamentos retos, a sua piquetagem é feita através das coordenadas de um ponto conhecido (Ponto A que pode ser o início do alinhamento reto), da distância ao próximo ponto (Ponto B), normalmente 25 m, e da orientação do alinhamento ou simplesmente, azimute (Az). O azimute é sempre positivo e varia entre 0 e 400 graus, sendo o ângulo obtido partindo do Norte e rodando, no sentido dos ponteiros do relógio, até encontrar o alinhamento. Logo, sabendo as coordenadas de dois pontos pertencentes ao alinhamento reto:

$$\overline{AB} = Az = \tan^{-1} \left(\frac{M_B - M_A}{P_B - P_A} \right) + k = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta M}{\Delta P} \right) + k \quad (3.12.)$$

com $k = 0$ grados se ΔM e $\Delta P > 0$, $k = 200$ grados se $\Delta M > 0$ E $\Delta P < 0$ ou ΔM e $\Delta P < 0$, e $k = 400$ grados se $\Delta M < 0$ e $\Delta P > 0$.

O cálculo das coordenadas vem:

$$M_B = M_A + \overline{AB} \times \sin(Az) \quad (3.13.)$$

$$P_B = P_A + \overline{AB} \times \cos(Az) \quad (3.14.)$$

A piquetagem da curva de transição (figura 3.2) é feita através das equações paramétricas e das coordenadas retangulares. As equações paramétricas, apresentadas nas equações 3.17 e 3.18, são calculadas em função do desenvolvimento $l=L$ da clotóide e do parâmetro A . Partindo das coordenadas do ponto O (ponto osculador ao alinhamento reto e à curva de transição – último ponto do alinhamento reto), da orientação do alinhamento reto e da distância x obtida pela equação paramétrica 3.17, calculam-se as coordenadas auxiliares no prolongamento do alinhamento reto auxiliar (ponto T_p). Com a distância y da equação paramétrica 3.18 e o azimute rodado de ± 100 grados, obtém-se um dos pontos para o qual se faz a piquetagem (P_p). Os cálculos dos restantes parâmetros que caracterizam a clotóide apresentam-se no fim deste subcapítulo. O esquema de cálculo das coordenadas para um ponto p qualquer pertencente à clotóide, segundo a figura 3.5, é apresentado na equação 3.15:

$$O \rightarrow \frac{\overline{OT_p}}{x} \rightarrow T_p \rightarrow \frac{\overline{OT_p} + 100 \text{ gr}}{y} \rightarrow P_p \quad (3.15.)$$

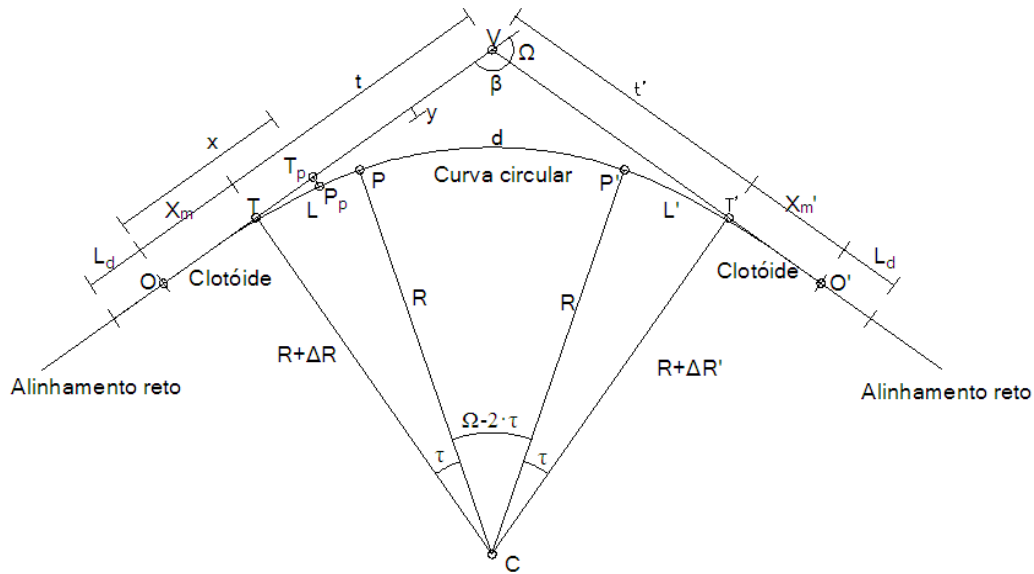


Figura 3.5. – Representação dos parâmetros caracterizadores de uma curva composta.

A piquetagem das curvas circulares (figura 3.5) é realizada conhecendo o ângulo ao centro ($\Omega-2\times\tau$), as coordenadas do centro da curva (C) e o seu raio (R). O ângulo ao centro calcula-se sabendo o ângulo de desvio (Ω), e no caso de ser curva composta, subtrai-se duas vezes o ângulo das tangentes (τ) correspondente ao parâmetro de transição da curva de transição. Sabendo o ângulo ao centro e variando este de P até P' , é fácil proceder à piquetagem da curva, igualmente através das coordenadas retangulares.

As equações necessárias para calcular os parâmetros das curvas compostas são:

- Equações fundamentais:

$$A^2 = r \times l \rightarrow \text{Equação 3.5.}$$

$$\tau = \frac{L}{2 \times R} \quad (3.16.)$$

- Equações paramétricas:

$$x = l - \frac{l^5}{40 \times A^4} + \frac{l^9}{3456 \times A^8} - \frac{l^{13}}{599040 \times A^{12}} \quad (3.17.)$$

$$y = \frac{l^3}{6 \times A^2} - \frac{l^7}{336 \times A^6} + \frac{l^{11}}{42240 \times A^{10}} - \frac{l^{15}}{9676800 \times A^{14}} \quad (3.18.)$$

- Outros parâmetros:

$$X_m = X - R \times \sin(\tau) \quad (3.19.)$$

$$\Delta R = Y - R \times (1 - \cos(\tau)) \quad (3.20.)$$

- Parâmetro do alinhamento reto:

$$L_d \leq \frac{i \times a}{\Delta i_{\text{mínimo}}} \quad \text{se } A > A_2^{\text{superior}} \quad (3.21.)$$

$$\text{Se } A \leq A_2^{\text{superior}} \rightarrow \text{Equação 3.26.}$$

- Parâmetros da curva circular:

$$d = R \times (\Omega - 2 \times \tau) \quad (3.22.)$$

$$\text{Desenvolvimento total da curva composta} - D = d + 2 \times L \quad (3.23.)$$

3.4. TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL

3.4.1. GENERALIDADES

O estudo tridimensional do eixo passa pelo estudo da diretriz, da definição da rasante e dos perfis transversais. Quanto ao perfil longitudinal, na procura da solução final há que atender a condicionantes que podem influenciar a escolha da rasante como a topografia, o maior afastamento do terreno natural agravando os movimentos de terras e a agressividade ao meio ambiente, a integração no meio ambiente, o impacto do ruído e visual, a distância de visibilidade necessária, a drenagem das águas pluviais tentando evitar os pontos baixos em escavação, os níveis de serviço a garantir, as passagens desniveladas com gabarito mínimo a respeitar e a coordenação planta/perfil. O objetivo passa então pela realização de um traçado cómodo, seguro e economicamente viável [21].

A representação do perfil longitudinal é bidimensional. O eixo horizontal corresponde à distância percorrida desde uma origem, definida em planta, e o eixo vertical é representativo das cotas do respetivo traçado. O perfil longitudinal é constituído por traneis e concordâncias verticais, sendo as últimas curvas parabólicas em vez de circulares, pois possibilitam uma maior simplicidade no cálculo e ligeiras melhorias de visibilidade e comodidade de circulação, devido à variação do raio de curvatura ao longo de mesma e o raio mínimo ser atingido no vértice da parábola. Assim, os traneis apresentam inclinação i constante, positiva se em rampa e negativa se em declive, no sentido crescente dos quilómetros da estrada. Nas concordâncias verticais, a inclinação varia linearmente com o percurso entre as tangentes de entrada e saída [21]. A figura 3.6 representa os elementos constituintes de uma concordância vertical, neste caso convexa, em que:

D (m) – desenvolvimento da concordância vertical, medido em projeção horizontal, ao longo do eixo horizontal;

i_1 (m/m) – inclinação do trainel anterior à concordância;

i_2 (m/m) – inclinação do trainel após a concordância.

A expressão que relaciona o raio mínimo da parábola e o desenvolvimento da concordância é:

$$R_v = \frac{D}{i_1 - i_2} \quad (3.24.)$$

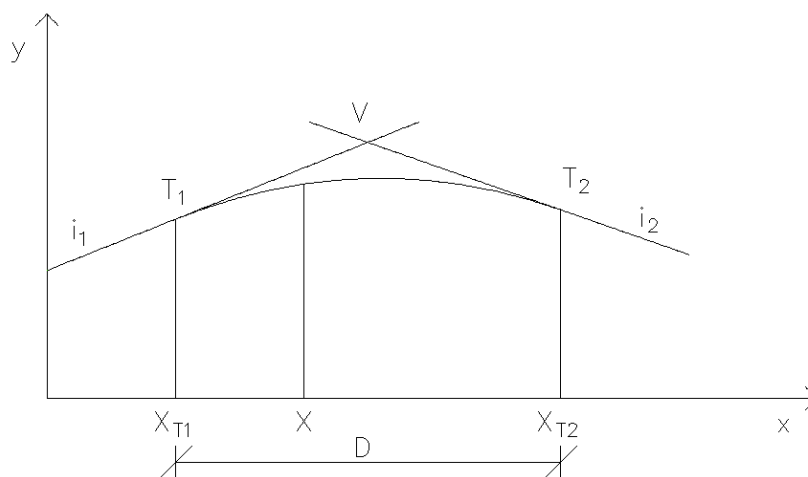


Figura 3.6. - Elementos de uma concordância vertical [21]

3.4.2. TRAINES

No lançamento dos traineis, a Norma propõe regras que têm em conta a inclinação máxima e mínima, pontos de distância à origem conhecidas e/ou obrigatórios, minimização dos movimentos de terras e coordenação planta/perfil. A inclinação máxima de um trainel está dependente do esforço de tração disponível pelo veículo tipo e da aderência longitudinal no contacto pneu/pavimento. Em estradas com volumes de tráfego reduzido, projetadas para Velocidades Base baixas, convém, se necessário, adotar traineis de inclinação moderada a elevada com poucos movimentos de terra. Antagonicamente, com elevados volumes de tráfego e de Velocidade Base alta convém ter em atenção os respetivos níveis de serviço e adotarem-se traineis de inclinação mais suave. É relevante para esta opção a diferença de velocidade que pode ocorrer entre veículos pesados e ligeiros e as maiores distâncias de travagem nos declives [21]. A JAE propôs um limite para a inclinação, apresentado no quadro 3.5 em função da Velocidade Base. Em terrenos acidentados, os custos de construção podem ser acrescidos, sendo permitido aos valores referidos no quadro 3.5 vir aumentados de 1% ou 2% se a extensão máxima desse mesmo trainel for de 600 m ou de 300 m, respetivamente [cf. 18 p.50].

Quadro 3.5 - Inclinação máxima dos traineis [18 cf. p.51]

Velocidade Base (km/h)	40	60	80	100	120	140
Inclinação máxima desejável (%)	8	7	6	5	4 ⁹	3

⁹ Em Autoestrada a inclinação máxima deverá ser de 3%.

Nas intersecções a inclinação do trainel da estrada principal deverá ser, no máximo, 4,0% [cf. 18 p.51].

A inclinação mínima está relacionada com a drenagem superficial. Para evitar os riscos associados prevê-se uma inclinação mínima de 0,5% em trainel. Nas zonas de curva em planta esta virá aumentada da inclinação longitudinal do bordo exterior da faixa de rodagem em relação ao eixo (Δi_e) [cf. 18 p.51].

$$i_{curva} \geq 0,5\% + \Delta i_e \quad (3.25.)$$

Esta inclinação mínima garante a não acumulação de água no pavimento e uma drenagem satisfatória das águas superficiais, principalmente em zonas de escavação.

Os traineis com a inclinação máxima não devem ter uma extensão superior a 3000 m. Se a extensão do trainel for demasiado longa, juntamente com uma inclinação considerável, esta pode causar perdas de tempo aos condutores, pois o nível de serviço baixa devido à redução da velocidade dos veículos pesados, criando uma fila de espera. Esta, adicionada à impaciência dos condutores dos veículos ligeiros, pode ser um fator de insegurança. Por este motivo, a extensão crítica dos traineis, apresentada no quadro 3.6, é em função da diminuição da velocidade dos veículos pesados relativamente à dos ligeiros, em 15 km/h, admitindo que a velocidade dos veículos pesados no início é de 90 km/h [cf. 18 p.52]. A Norma sugere, quando esta extensão for excedida, a criação de uma via adicional para os veículos lentos, principalmente se os volumes de tráfego de veículos pesados forem elevados. Para esta via ser aplicada são necessárias satisfazer três condições [cf. 18 p.56]:

- *Extensão do trainel superior ao valor crítico correspondente à sua inclinação;*
- *Volume horário de projecto superior a 200 veículos;*
- *Volume de veículos pesados superior a 20 veículos/hora.*

Quadro 3.6 - Extensão crítica dos traineis [cf. 18 p.52]

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

3.4.3. CONCORDÂNCIAS VERTICAIS

As concordâncias verticais podem ser de dois tipos: convexas ou côncavas. Nas concordâncias convexas a aceleração vertical reduz o peso das viaturas, enquanto nas côncavas a aceleração vertical aumenta o peso estabilizador atuando do lado da segurança. Uma concordância vertical é caracterizada pelo seu desenvolvimento (D) e pelo raio mínimo (R_v). As características mínimas são determinadas em função da segurança de circulação, da distância de visibilidade, de uma circulação cómoda e da comodidade ótica e estética. Os dois primeiros são controlados pelo recurso a raios grandes e os dois últimos pelo desenvolvimento mínimo [21].

Em relação às concordâncias convexas, na definição dos raios mínimos e a fim de garantir a segurança, o critério limitativo é o de assegurar as distâncias de visibilidade necessárias ($D_v = DP$) e não o da comodidade de circulação. No caso de estradas de duas vias com ultrapassagem permitida na concordância, a mínima distância de visibilidade a considerar é a de ultrapassagem. No caso de estradas de duas vias com ultrapassagem proibida na concordância ou estradas unidireccionais, a mínima distância de visibilidade é a de paragem. Analisando os esquemas elucidativos de uma concordância convexa, pode-se ter duas situações: figura 3.7 A: $D > D_v$ e figura 3.7 B: $D < D_v$ [21].

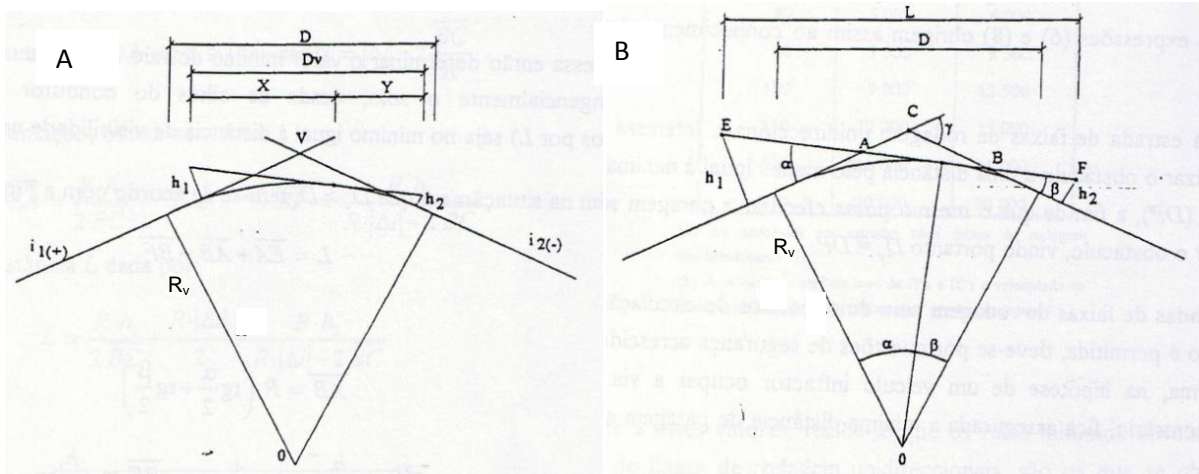


Figura 3.7 - Cálculo do raio mínimo de uma concordância convexa (A: $D > D_v$; B: $D < D_v$) [21]

Na situação A, o pior caso é quando o veículo e o obstáculo se encontram dentro da concordância, sendo o valor do raio calculado geometricamente através de:

$$X = \sqrt{2 \times R \times h_1} \quad (3.26.)$$

$$Y = \sqrt{2 \times R \times h_2} \quad (3.27.)$$

$$D_v = X + Y \quad (3.28.)$$

resultando,

$$R_v = \frac{D_v^2}{2 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} \quad (3.29.)$$

Na situação B, em que a mínima distância de visibilidade necessária é superior ao desenvolvimento da concordância, os valores dos raios são sempre inferiores aos da situação anterior. Logo, a Norma só considera a primeira situação, atuando do lado da segurança [21].

As alturas h_1 e h_2 tomam o valor de 1,05 m e 0,15 m, respetivamente. De salientar que os valores apresentados na Norma e no quadro 3.7, para os raios mínimos absolutos, derivam da utilização de $D_v = DP$ e para os raios mínimos normais, de $D_v = 2 \times DP$ e $h_1 = h_2 = 1,05$ m. Ao comprovar os valores apresentados na Norma depara-se com incoerências. Assim, os valores dos raios apresentados para as velocidades de 40 e 50 km/h são superiores aos dados pela expressão, e para as velocidades de 120 e 140 km/h são inferiores. Outro caso são os valores dos raios normais apresentados para as maiores gamas de velocidades características de faixas unidireccionais, como IPs e ICs, que não são praticadas em estradas de dois sentidos por faixa [21].

Nas concordâncias côncavas, tanto a distância de visibilidade como a comodidade de circulação são limitativas, aplicando-se a primeira para velocidades base inferiores ou iguais a 80 km/h e a segunda para velocidades base superiores a 80 km/h. A visibilidade a assegurar é a noturna conseguida através da luz emitida pelos faróis. Analogamente às concordâncias convexas, também existem duas situações: figura 3.8 A: $D > D_v$ e figura 3.8 B: $D < D_v$ [21].

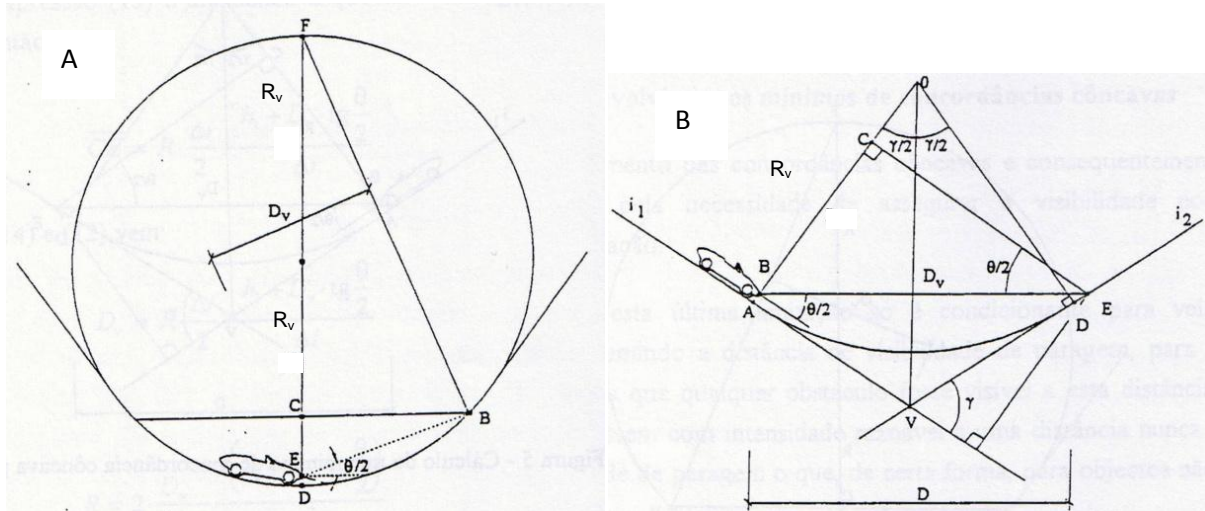


Figura 3.8 - Cálculo do raio mínimo de uma concordância côncava (A: $D > D_v$; B: $D < D_v$) [21]

Na situação A, o raio mínimo da concordância é calculado para que a extensão de estrada iluminada seja, pelo menos, igual à D_v . Atendendo a que os faróis emitem um cone de luz com abertura θ a uma altura h_3 , geometricamente tem-se:

$$\frac{\overline{CD}}{\overline{DB}} = \frac{\overline{DB}}{\overline{DF}} \quad (3.30.)$$

$$\overline{DB} = D_v \quad (3.31.)$$

resultando,

$$R_v = \frac{D_v^2}{2 \times (h_3 + D_v \times \tan(\theta/2))} \quad (3.32.)$$

Na situação B, a extensão iluminada pelos faróis estende-se ao tranel. A situação mais desfavorável ocorre quando o veículo está sobre o primeiro ponto de tangência. Porém, para esta situação, como os valores dos raios mínimos são sempre inferiores aos que resultam da situação anterior, para efeitos práticos, a Norma só considera o cálculo dos raios pela expressão em que $D > D_v$, para $V_B \leq 80$ km/h [21]. Para $V_B > 80$ km/h, o critério condicionante é a comodidade, vindo esta limitada a $0,25 \text{ m/s}^2$ de aceleração vertical [cf. 18 p.54]. Assim, sabendo que:

$$a = \frac{V^2}{3,6^2 \times R_v} \Leftrightarrow R_v = \frac{V^2}{3,24} \quad (3.33.)$$

A Norma propõe um h_3 igual 0,75 m, um θ igual a 2 graus e que a mínima distância de visibilidade seja a de paragem. A incoerência verificada para as concordâncias côncavas é que os valores indicados na Norma, para $VB > 80$ km/h, não são os relativos ao critério condicionante, a comodidade, mas parecem ser resultantes da expressão da visibilidade noturna [21]. A norma justifica com base na predominância do critério relativo à visibilidade noturna [cf. 18 p.54]. No quadro 3.7 apresentam-se também os valores dos raios mínimos para as concordâncias côncavas.

Quadro 3.7 - Raios mínimos das concordâncias convexas e côncavas [cf. 18 p.55]

Velocidade Base (km/h)	Raio mínimo das concordâncias convexas (m)		Raio mínimo das concordâncias côncavas (m)
	Absoluto ¹⁰	Normal	
40	1500	1500	800
50	1500	2100	1200
60	2000	3000	1600
70	3000	4200	2500
80	5000	6000	3500
90	7500	8500	4500
100	9000	12500	5500
110	12000	13000	6000
120	14000	16000	7000
140	20000	20000	8000

No quadro 3.8 apresentam-se os respetivos desenvolvimentos mínimos das concordâncias convexas e côncavas, com a finalidade de assegurar o conforto ótico dos condutores. Assim, para que o valor da concordância vertical seja perceptível ao condutor, o desenvolvimento dado pela equação 3.24 não pode resultar inferior a um tempo de percurso mínimo de, geralmente, 3,6 segundos [21].

¹⁰ Só aceitáveis em estradas com faixas de rodagem unidirecionais [cf. 18 p.55].

Quadro 3.8 - Desenvolvimentos mínimos das concordâncias convexas e côncavas [18]

Velocidade Base (km/h)	Desenvolvimento mínimo das concordâncias convexas (m)		Desenvolvimento mínimo das concordâncias côncavas (m)
	Absoluto ¹⁰	Normal	
40	40		60
50	50		60
60	60		
70	70		
80	80		
90	90	120	120
100	100		
110	110		
120	120		
140	140	140	140

3.4.4. REVISÃO TEÓRICA DO CÁLCULO DE COTAS

Neste subcapítulo é feita uma recordação do cálculo das cotas de projeto, bem como do cálculo da distância a que se situa o ponto máximo ou mínimo de uma concordância, caso seja convexa ou côncava, respetivamente.

Em tranel, a inclinação i da rasante é constante. Conhecendo um ponto de cota obrigatória ou fixada previamente, é possível obter as restantes cotas através da equação 3.34. O sinal da inclinação é positivo se em rampa e negativo se em declive.

$$H = H_A + i \times x \quad (3.34.)$$

em que,

H [m] – cota pretendida;

H_A [m] – cota conhecida;

i – inclinação do tranel;

x [m] – distância medida ao longo do eixo em planta entre o ponto de cota conhecida e de cota pretendida.

Nas concordâncias, a curva a utilizar é a parábola de segundo grau em que a variação da inclinação (tangente à curva) é linear. A expressão geral da concordância em relação a um referencial ortogonal com origem no primeiro ponto de tangência (tangente ao tranel e à concordância) é a apresentada na equação 3.35.

$$H = H_A + i_1 \times x - \frac{x^2}{2 \times R} \quad (3.35.)$$

em que,

i_1 – positivo no caso do trainel estar a subir em relação à parte positiva do eixo horizontal e negativo no caso contrário;

R [m] – raio vertical, positivo no caso de concordâncias convexas e negativo no caso de concordâncias côncavas.

O ponto mínimo ou máximo de uma concordância, quando não coincidir com um dos pontos de tangência trainel/concordância, corresponde ao PK de inclinação nula da tangente à curva. Ou seja, derivando a equação 3.35 em ordem a x e igualando-a a zero, a distância x ao ponto máximo ou mínimo da concordância, a partir do ponto de entrada da concordância, toma o valor dado pela equação 3.36.

$$x = i \times R \quad (3.36.)$$

3.5. Coordenação do traçado em planta e perfil longitudinal

Como já referido, a utilização de uma infraestrutura cria uma expectativa aos condutores que a utilizam. Assim, o aspeto visual é um dos elementos fundamentais na definição das características geométricas de uma estrada. Para isso, a Norma enuncia uns quantos princípios para uma boa coordenação planta e perfil, para não se verificarem quebras de traçado ao longo da estrada [cf.18 p.64]:

- *O traçado, em planta e perfil, deve integrar-se no meio ambiente;*
- *A sobreposição das curvas em planta e perfil melhoram normalmente o aspecto visual da estrada. No entanto devem analisar-se as consequências desta sobreposição quanto à segurança e à operação do tráfego;*
- *Não se devem fazer coincidir curvas verticais de pequeno desenvolvimento com curvas horizontais. Sempre que possível, as curvas verticais devem ter grande desenvolvimento, devendo coincidir as bissectrizes das curvas em planta e perfil;*
- *As curvas horizontais vistas à distância parecem ter extensão diminuta, pelo que o raio deve ser o maior possível, de modo a evitar o aspecto de uma quebra;*
- *Deve optar-se por curvas com grande desenvolvimento, de preferência, a grandes alinhamentos rectos com curvas de pequena extensão;*
- *Devem adoptar-se alinhamentos independentes nas estradas com 2×2 vias, sempre que o aumento do custo de construção seja economicamente aceitável;*
- *Assegurar oportunidades de efectuar ultrapassagens com segurança, nas estradas com duas vias. Esta necessidade pode muitas vezes limitar a adopção das melhores combinações do traçado em planta e perfil.*

A Norma ainda sugere que perante pontos singulares (intersecções, nós de ligação, etc.), estes não se devem situar em concordância convexa, curvas de pequeno raio, ou zonas de descontinuidade em perspectiva. A seguir apresenta-se *casos típicos de desconforto óptico a ter em atenção e a solução mais conveniente* [cf. 18 p.65].

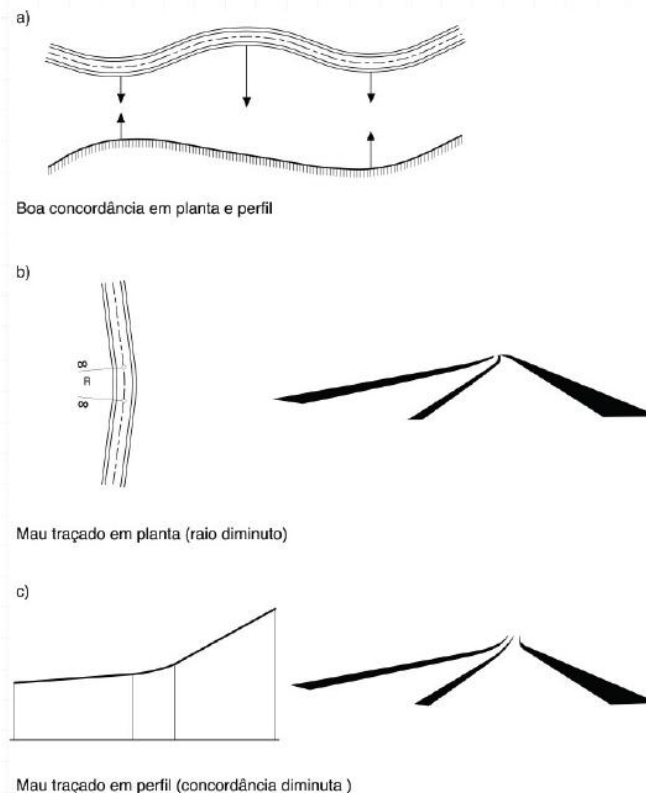


Figura 3.9. - Coordenação do Traçado em Planta e Perfil 1 (Fonte: fig. 12A, [18] ou [19])

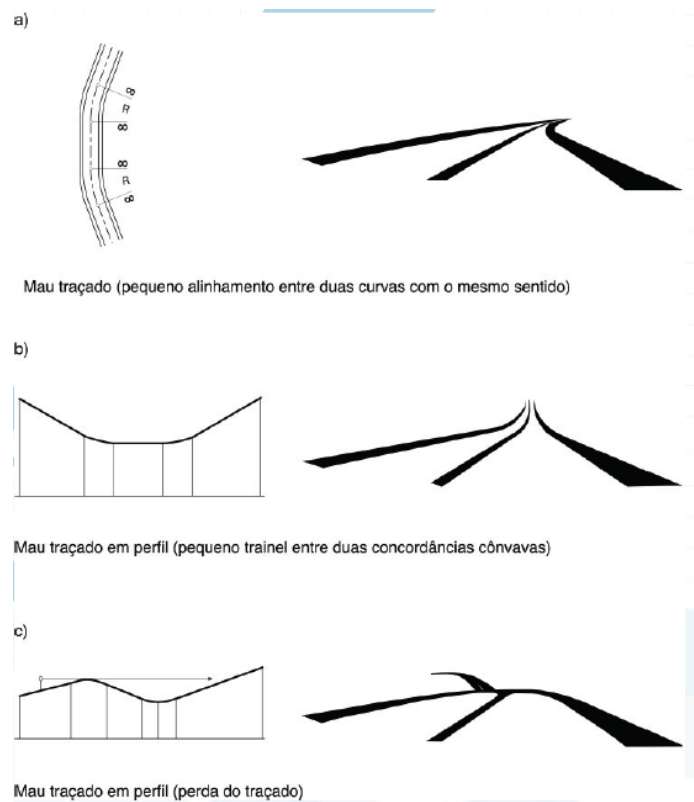


Figura 3.10. - Coordenação do Traçado em Planta e Perfil 2 (Fonte: fig. 12B, [18] ou [19])

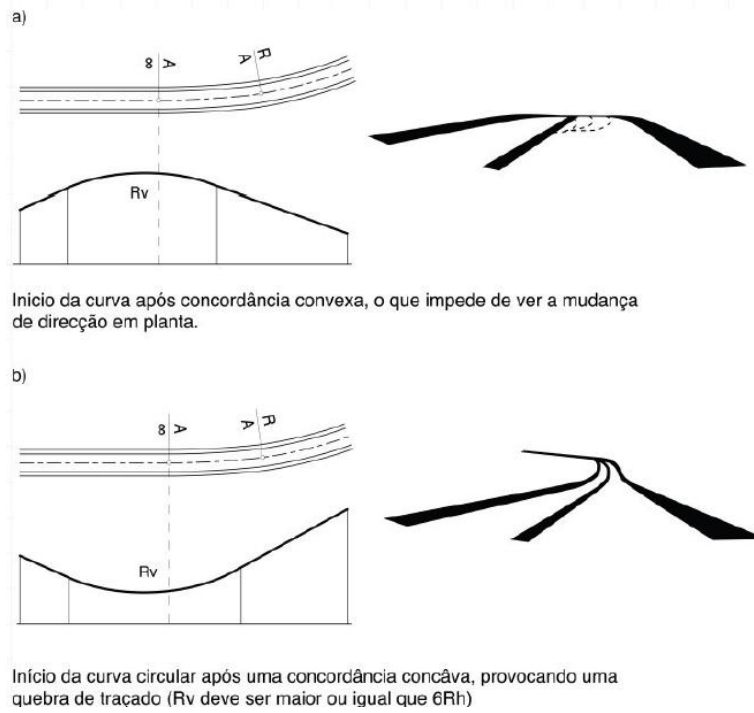


Figura 3.11. - Coordenação do Traçado em Planta e Perfil 3 (Fonte: fig. 12C, [18] ou [19])

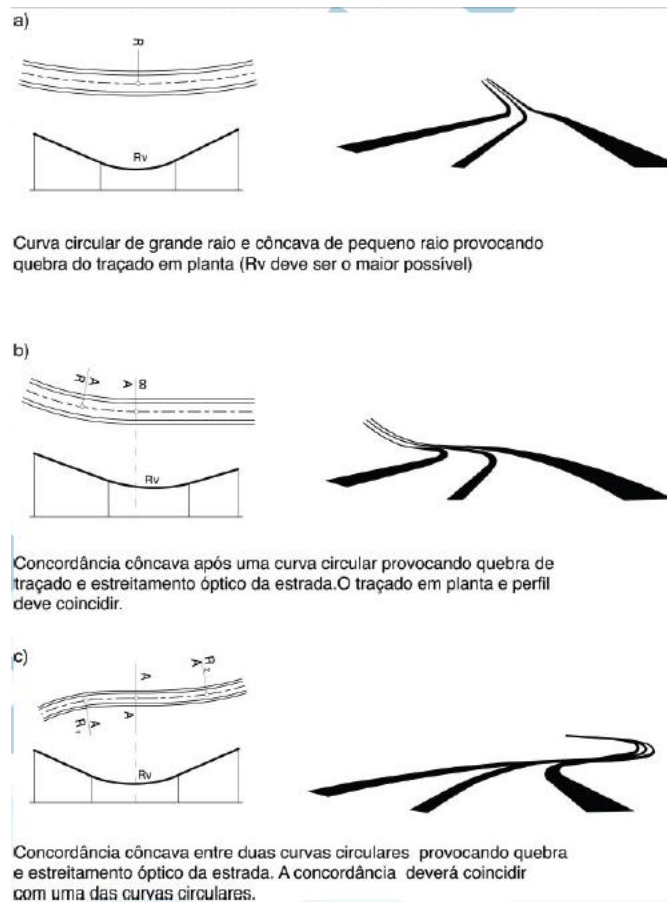


Figura 3.12. - Coordenação do Traçado em Planta e Perfil 4 (Fonte: fig. 12D, [18] ou [19])

3.6. PERFIL TRANSVERSAL

3.6.1. GENERALIDADES

O perfil transversal é a representação transversal da estrada que permite a definição do volume de terras a movimentar, das expropriações a realizar e da respetiva ocupação do solo. Num perfil transversal tipo os elementos que o constituem são a faixa de rodagem, as bermas, as valetas, os taludes e o separador, se for esse o caso. A faixa de rodagem é a zona onde circulam as viaturas sendo construída, geralmente, por camadas de materiais betuminosos e granulares. As bermas são as zonas adjacentes à faixa de rodagem, sendo o seu conjunto designado por plataforma. A continuidade das valetas e dos taludes em relação à plataforma é feita a partir de concordâncias.

3.6.2. FAIXA DE RODAGEM

A faixa de rodagem é composta, estruturalmente, pela largura das vias e pela sinalização horizontal, com uma largura mínima de 7,0 m nas estradas de duas vias¹¹. Em curva, devido à maior rigidez dos veículos pesados, estes ocupam uma maior largura de faixa de rodagem sendo necessário dar uma largura extra designada de sobrelargura. A sobrelargura é calculada através da equação 3.37 para raios menores que 200 m e é introduzida no intradorso da curva. O seu desenvolvimento varia linearmente através da curva de transição atingindo o seu máximo na curva circular. As larguras mais indicadas a utilizar para a faixa de rodagem estão no quadro 3.11 [cf. 18 p.73].

$$S_L = \frac{80}{R} \text{ para } R < 200 \text{ m} \quad (3.37.)$$

$$S_L = 0 \text{ para } R \geq 200 \text{ m} \quad (3.38.)$$

3.6.3. INCLINAÇÃO TRANSVERSAL

A constituição da estrada (faixa de rodagem, bermas, etc..) terá de vir dotada de uma inclinação transversal de modo a drenar eficazmente as águas superficiais. Esta inclinação será de 2,5% ou de 2% conforme a camada de desgaste do pavimento for, respetivamente, em betuminoso ou em betão de cimento. Em alinhamento reto, nas estradas de 2 vias, o pavimento é inclinado para ambos os lados a partir do eixo, enquanto em curva é inclinado para um lado, dependendo se a curva é à direita ou à esquerda, sendo essa inclinação constante em curva circular e designada de sobrelevação [18 cf. p.73].

3.6.4. SOBREELEVAÇÃO

A sobrelevação é definida não a partir da Velocidade Base, mas sim a partir da Velocidade Específica compatível com o raio da curva, devido à velocidade intuitiva à qual os condutores percorrem as curvas ser superior à Velocidade Base. Os valores de sobrelevação são apresentados no quadro 3.9 para estradas com 2 vias e estradas com 2 x 2 vias. Para valores intermédios de raio, é realizada uma interpolação, adotando-se a sobrelevação correspondente ao meio por cento mais elevado [cf. 18 p.73].

¹¹ Em estradas de terreno difícil (montanhoso), a largura pode ser menor.

A transição da sobrelevação desde alinhamento reto até à curva circular é feita na curva de transição e o seu disfarce tem uma variação linear nas estradas de 2 vias. Nestas, a rotação para o disfarce é efetuada em torno do eixo da faixa de rodagem. No início da clotóide, o perfil já tem de ser sobrelevado no extradorso e com a mesma inclinação transversal da via de intradorso, pelo que em alinhamento reto terá de haver um disfarce anterior à curva de transição. A transição prolonga-se até atingir o valor da S_e , que geralmente surge no início da curva circular. Esta variação induz a um aumento de inclinação do bordo de extradorso da faixa de rodagem, pelo aparecimento de uma rampa secundária que se adiciona à inclinação do perfil longitudinal. Na figura 3.13 ilustra-se a transição da sobrelevação, pondo em evidência um perfil longitudinal do eixo e dos bordos da faixa de rodagem numa estrada de duas vias e, na figura 3.14 está representada esta variação em perspetiva [21].

Quadro 3.9 - Sobrelevação em curva [cf. 18 p.75]

Sobrelevação em curva			
Estradas com 2 vias		Estradas com 2 x 2 vias ¹²	
Raio (m)	Sobrelevação (%)	Raio (m)	Sobrelevação (%)
≤ 450	7,0	≤ 900	7,0
525	6,5	1100	6,5
600	6,0	1300	6,0
700	5,5	1500	5,5
850	5,0	1750	5,0
1000	4,5	2000	4,5
1200	4,0	2250	4,0
1400	3,5	2600	3,5
1600	3,0	3000	3,0
1900 ≤ R < 2500	2,5	3500 ≤ R < 5000	2,5
≥ 2500	-	≥ 5000	-

¹² Nestas estradas a velocidade do tráfego é normalmente superior em 30% à das estradas com 2 vias.

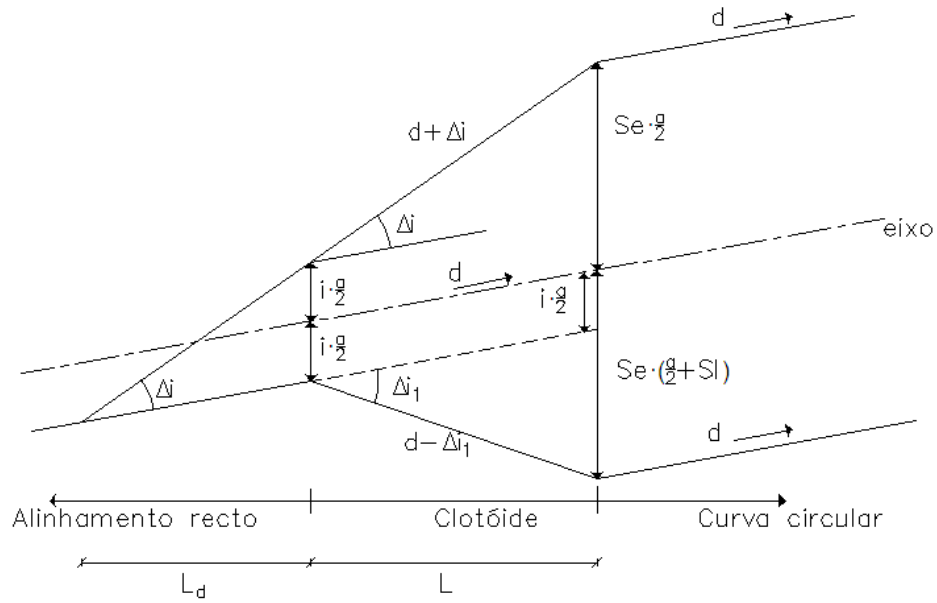


Figura 3.13 - Transição da sobre-elevação, pondo em evidência um perfil longitudinal do eixo e dos bordos da faixa de rodagem para estradas de 2 vias [21]

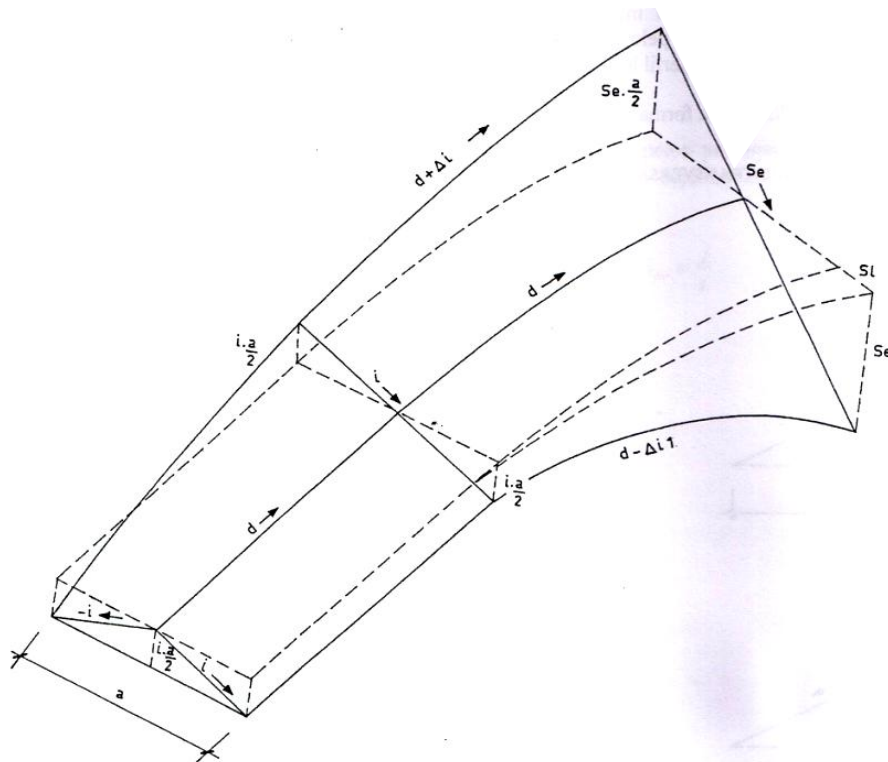


Figura 3.14 - Transição da sobre-elevação em perspectiva [21]

A Norma limita superiormente o valor de Δi , ou seja, define um $\Delta i_{\text{máx}}$ devido a este aumentar o valor da inclinação longitudinal para quem circula junto do bordo de extradorso, aumentar a variação da sobre-elevação no tempo, para quem circula ao longo da curva de transição, e agravar o empenamento

da faixa de rodagem. É fixado de igual modo um Δi_{\min} com a finalidade de assegurar uma boa drenagem lateral, como indicado no quadro 3.10 [21].

Quadro 3.10 - Declividade máxima e mínima da transição da sobrelevação [18]

Velocidade de Tráfego ¹³ (km/h)	≤ 40	40 < V ≤ 80	> 80
Δi_{\max} (%)	1,5	1,0	0,8
Δi_{\min} (%) ¹⁴	0,1 × (a/2)		

Da figura 3.13, pode-se aferir:

$$\Delta i = \frac{a \times (S_e - i)}{2 \times L} \quad (3.39.)$$

$$\Delta i_1 = \frac{(S_e - i) \times a + 2 \times S_e \times S_L}{2 \times L} \quad (3.40.)$$

$$L_d = \frac{2 \times L \times i}{S_e - i} \quad (3.41.)$$

O L_d é a extensão de alinhamento reto onde se dá a transformação do perfil em duas águas para um perfil sobreelevado de inclinação igual à da via de intradorso em alinhamento reto.

Caso o parâmetro A não respeite o limite superior do segundo critério de dimensionamento (A_2^{superior}), o valor é viável havendo uma quebra do Δi entre L_d e L por não cumprir este parâmetro. O valor de Δi é igual ao $\Delta i_{\text{mínimo}}$ no disfarce da sobrelevação em alinhamento reto e menor que o mínimo em clotóide.

3.6.5. BERMAS

A divisão entre a faixa de rodagem e as bermas processa-se através de um traço branco, contínuo e, dependendo da importância da estrada ou da aproximação a uma intersecção, por exemplo, com bandas sonoras. A berma deve ser usada em caso de avaria, circulação dos veículos prioritários e evitar acidentes. A berma é pavimentada em toda a sua largura e vem dotada de inclinação transversal igual à da faixa de rodagem. A largura das bermas pavimentadas é a prescrita no quadro 3.11 [cf. 18 p.75].

¹³ Deste modo, VT inferiores a 40 km/h correspondem a VB de valor reduzido. Na opinião do autor, a VT indicada pela Norma está errada e devia ler-se Velocidade Base.

¹⁴ Novo erro da Norma do Traçado. A expressão a utilizar deve ser $0,1 \times (a/2 + \text{berma})$ devido à berma ter a mesma inclinação transversal que a faixa de rodagem e contribuir para a drenagem lateral.

Quadro 3.11. - Largura das vias e das bermas pavimentadas [19]

Tipo de estrada	Velocidade Base (km/h)	Largura das vias (m)	Largura das bermas pavimentadas (m)	
			Esquerda	Direita
Dupla faixa de rodagem	≥ 100	3,75	1,0	3,0
	< 100	3,5	1,0	3,0
Faixa única	Via expresso	≥ 80		2,5
	EN	≥ 80		2,5 ¹⁵
	ER	< 80	3,0 ¹⁶	1,5

3.6.6. VALETAS/VALAS

As valetas são órgãos de drenagem longitudinal das águas superficiais caídas na plataforma e nos taludes de escavação. As valetas podem ser de vários tipos conforme a sua função. Assim, existem as valetas de plataforma (figura 3.15) caracterizadas pela sua forma geralmente triangular com inclinação suave do lado da faixa de rodagem, dimensão mínima de 1,0 m em projeção horizontal, podendo ser não revestidas, revestidas ou de fundo revestido. As valas de bordadura (figura 3.16) são características de perfis em aterro, garantindo a proteção do talude de aterro em relação à ação erosiva das águas. O seu emprego está dependente da quantidade de caudal a escoar e da altura do aterro. As valas do separador central (figura 3.18) são colocadas entre os separadores centrais com o objetivo de recolher as águas da faixa de extradorso. A vala de crista do talude de escavação (figura 3.17) impede que a água proveniente do terreno natural chegue à plataforma e ao próprio talude. As valas de banqueteta têm as mesmas funções que as de crista, mas são colocadas na referida banqueteta de estabilidade dos taludes de escavação de grande altura. Por fim, as valas pé de talude colocadas na base dos taludes de aterro, recolhem as águas dos outros órgãos de drenagem longitudinal e, quando colocadas a montante, protegem o respetivo talude [21].

¹⁵ Para Volumes Horários de Projecto < 200 veículos é de 1,5 m [19].

¹⁶ Para Volumes Horários de Projecto < 300 veículos. Senão é de 3,5 m [19].

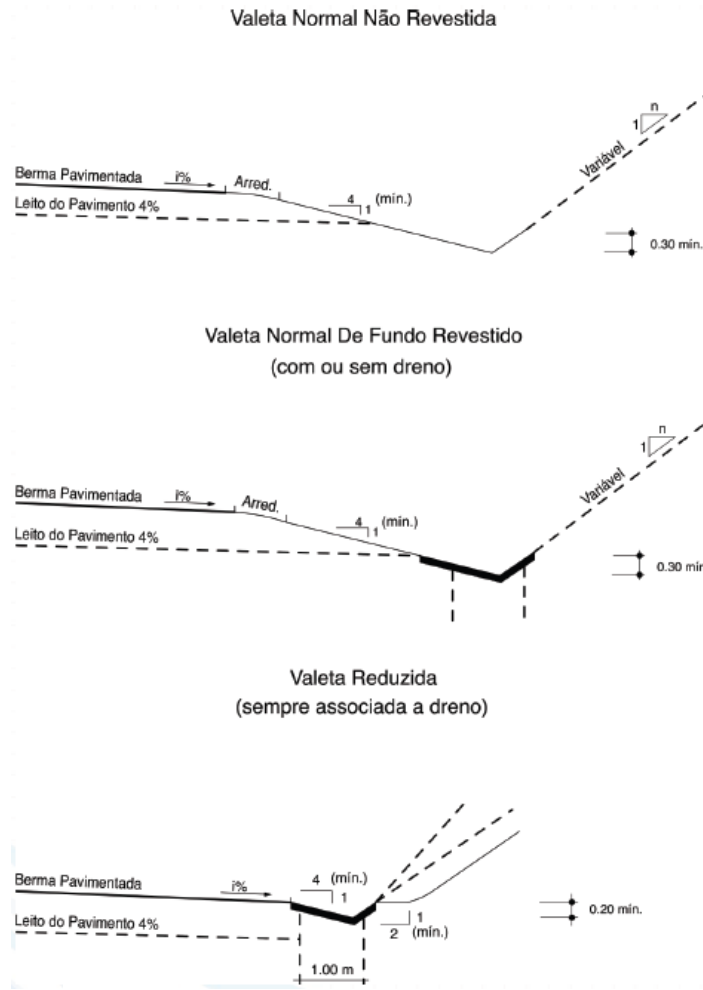


Figura 3.15. - Exemplos de valetas de plataforma (Fonte: fig. 17 B, [18] ou [19])

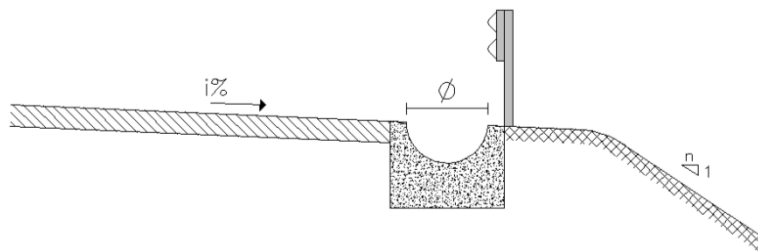


Figura 3.16. - Exemplo de vala de bordadura [21]

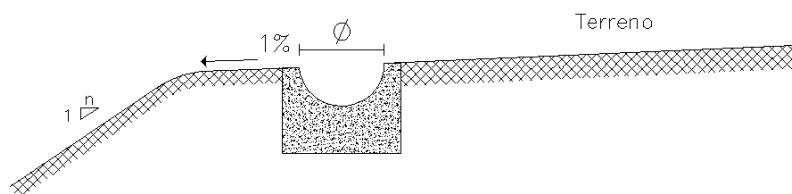


Figura 3.17. - Exemplo de vala de crista [21]

3.6.7. TALUDES

Os taludes situam-se na parte lateral da plataforma da estrada, abaixo desta se estamos em aterro, ou acima desta se em escavação. A sua inclinação deverá ser definida tendo em consideração as características geotécnicas do terreno e a integração paisagística. No sentido de melhorar a estabilidade dos taludes, algumas medidas a ter em conta são: revestimento com terra vegetal, banquetas de estabilidade, drenagem adequada e construção de muros de suporte [cf. 18 p.88].

3.6.8. SEPARADORES

Os separadores centrais são os espaços centrais das estradas de duas faixas de rodagem. Este espaço é constituído pelas bermas esquerdas da circulação, a(s) guarda(s) de segurança e o espaço livre entre estas. As guardas podem ser flexíveis ou rígidas. A diferença fundamental entre eles está na dissipação da energia cinética aquando da colisão. As guardas flexíveis não dissipam a energia cinética pois são deformáveis. Porém, são mais adaptáveis ao traçado e de investimento inicial mais reduzido. Nas guardas rígidas, a energia cinética é dissipada através do veículo sendo mais resistente aos embates e impedindo a invasão da faixa contrária. Têm menores custos de manutenção e exigem menos espaço. A distância mínima das guardas de segurança ao limite da faixa de rodagem deverá ser de 1,0 m [21]. No quadro 3.12 apresenta-se a largura mínima dos separadores em função da velocidade. A figura 3.18 representa um perfil transversal tipo dos separadores centrais usados em nós ligação com ramos bidirecionais.

Quadro 3.12 - Largura mínima dos separadores [18]

Velocidade Base (km/h)	Largura do Separador (m)	
	Mínimo Absoluto	Mínimo Normal
60	2,6	4,0
80	4,0	5,0
100	5,0	6,0
120		
140	6,0	6,0

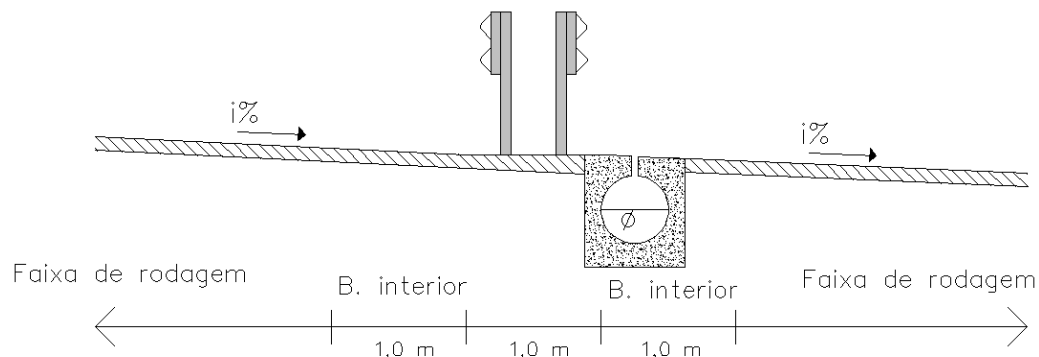


Figura 3.18. - Largura mínima absoluta do separador central (usual em nós de ligação) [21].

4

GEOMETRIA DOS NÓS DE LIGAÇÃO – NORMAS

4.1. INTRODUÇÃO

Um nó de ligação é constituído por um conjunto de ramos de ligação na vizinhança de um cruzamento a níveis diferentes, que asseguram a ligação das estradas que aí se cruzam. A Norma de Nós de Ligação está direccionada para a Rede Rodoviária Nacional localizada em zona rural, com a exceção dos itinerários em zonas suburbanas (Área Metropolitana de Lisboa e do Porto). A escolha da construção de um nó de ligação não depende só do tipo de cruzamento mas também do tráfego, nível de serviço a garantir (por exemplo, nível de serviço B no cruzamento de IPs) e eliminação dos pontos de conflito. De acordo com a figura 4.1, os tipos de cruzamento em que se devem utilizar nós de ligação são apresentados no quadro 4.1. Os nós de ligação ainda melhoram a segurança, a comodidade e provocam menos atrasos. É fundamental estarem sempre iluminados de modo a garantir condições noturnas de segurança, de visibilidade e de condução semelhantes às condições diurnas. A existência de um futuro nó de ligação é um fator de incentivo ao desenvolvimento dessa zona [cf. 22 p.5-7].

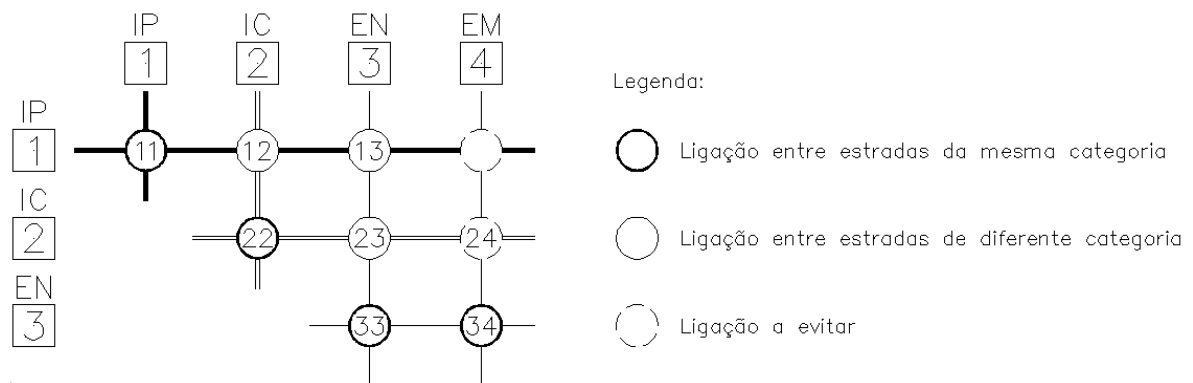


Figura 4.1. – Classificação dos cruzamentos [cf. 23 p.8]

Quadro 4.1. – Nós de Ligação [cf. 22 p.5]

Tipo de Cruzamento	11	12	13	22	23	24
Nós de Ligação	✓	✓	✓	✓	✓ ¹⁷	✓ ¹⁷

4.2. TIPOS DE NÓS DE LIGAÇÃO

4.2.1. GENERALIDADES

A escolha do nó de ligação a projetar está dependente de fatores como a velocidade para a qual o nó é projetado, o tráfego que irá circular, a topografia local, a área disponível para construção, as condicionantes urbanísticas existentes e futuras, o impacte ambiental e o custo da obra [cf. 22 p.7].

A Norma apresenta quatro tipos gerais de nós caracterizados pelo traçado dos ramos de ligação, sendo os restantes nós de ligação variantes dos anteriores. *Um ramo de ligação é uma estrada de um nó de ligação, pela qual os veículos podem entrar ou sair das estradas que se cruzam* [cf. 22 p.81]. Os ramos de ligação mais correntes são:

- Direto: ramos de viragem à direita e à esquerda em que a primeira curva é à direita ou à esquerda, respetivamente, que corresponde ao movimento que o condutor pretende tomar;
- Semi-direto: ramos de viragem à esquerda em que a primeira curva é à direita, levando o condutor a percorrer uma curva em *S* no seu trajeto;
- Indireto: ramos de viragem à esquerda que se processam sempre pela direita, geralmente designados por *loop*, com desenvolvimento angular do arco de 300 graus.

Antes de mais, interessa conhecer a importância das estradas a ligar, ou seja, a ligação pode ser entre itinerários principais e/ou complementares ou entre itinerários principais ou complementares e outras estradas (nacionais ou municipais). No que diz respeito ao segundo tipo de ligação, a partir dos ramos descritos podem-se classificar os nós em nós *de 3 ramos* ou *de 4 ramos*. Como exemplo de nós *de 3 ramos* existem o Nó em Trompete, o Nó em Pêra, o Nó em Forquilha e o Nó em Raquete. Quanto aos nós *de 4 ramos* existem o Nó em Diamante, o Nó em Meio-Trevo Incompleto, o Nó em Meio-Trevo Completo e o Nó em Trevo. A seguir é apresentada uma breve descrição dos nós tipificados referidos (Trompete, Diamante e a família do Trevo).

4.2.2. NÓ EM TROMPETE

O Nó em Trompete é constituído por dois ramos diretos de viragem à direita, um *loop* e um ramo directo ou semi-direto de viragem à esquerda. A utilização deste tipo é indicada quando um dos itinerários termina no nó, isto é, a estrada secundária tem o seu fim na estrada principal. De entre os nós *de 3 ramos* este é uma das soluções mais económicas, sendo vantajoso que a saída se inicie antes da estrutura [24]. Na figura 4.2 apresenta-se um exemplo deste tipo de nó.

¹⁷ Quando o Tráfego Médio Diário na estrada secundária, no ano horizonte, for inferior a 1000 veículos serão adoptadas intersecções [cf. 22 p.5].



Figura 4.2. – Exemplo de um Nó em Trompete (Fonte: Google Maps 2012)

4.2.3. NÓ EM DIAMANTE

O Nó em Diamante é constituído por quatro ramos diretos, um em cada quadrante, em que as quatro viragens à esquerda se efetuam na estrada secundária por meio de interseções de nível. A capacidade do nó vem assim limitada pela capacidade das interseções sendo o seu custo, em geral, o mais diminuto. As principais vantagens deste tipo de nó são: as rampas de saída localizam-se antes da obra de arte e as rampas de entrada situam-se depois da obra de arte, não existem entrecruzamentos na estrada principal e a largura de vão da obra de arte é menor devido às vias auxiliares não se localizarem sob ou sobre a obra de arte. Por outro lado, as principais desvantagens são: a capacidade limitada, o maior número de pontos de conflito na via secundária e a grande probabilidade das manobras erradas por parte dos condutores. Na figura 4.3 é ilustrado um exemplo deste tipo de nó. Para evitar manobras erradas, este tipo de nó é muitas vezes efetuado com duas rotundas na estrada secundária, em vez de ilhas separadoras e direcionais [24].



Figura 4.3. – Exemplo de um Nó em Diamante com duas rotundas na estrada secundária (Fonte: Google Maps 2012)

4.2.4. NÓ EM MEIO-TREVO INCOMPLETO

O Nó em Meio-Trevo Incompleto (figura 4.4) é o mais simples da sua família ocupando apenas dois quadrantes dos quatro disponíveis. Este é constituído por dois ramos directos e dois *loops*, em que os dois *loops* permitem duas viragens à esquerda sem conflito, de saída da estrada principal ou da secundária. As outras quatro viragens à esquerda realizam-se na via secundária, com duas delas a corresponderem a movimentos à direita. As vantagens que este tipo de nó apresenta são: não tem entrecruzamentos tal como os nós em diamante, a sinalização a instalar é mais simples, a área de expropriação necessária é menor deixando dois quadrantes livres com possibilidade de melhoria do nó. Os inconvenientes são: bastantes pontos de conflito na estrada secundária na zona das intersecções e uma largura ou vão da obra de arte maior que no nó em diamante, devido às vias auxiliares [24].



Figura 4.4. – Exemplo de um Nó em Meio-Trevo Incompleto (Fonte: Google Maps 2012)

4.2.5. NÓ EM MEIO-TREVO COMPLETO

O Nó em Meio-Trevo Completo ocupa os quatro quadrantes disponíveis, sendo constituído por quatro ramos directos e dois *loops*. Assim, as quatro viragens à direita são realizadas a partir dos ramos directos e dos quatro movimentos à esquerda, dois são resolvidos pelos *loops* e os restantes com viragens à esquerda na estrada secundária. As principais vantagens que este nó apresenta são: igualmente como no nó em meio-trevo incompleto não tem entrecruzamentos, possui uma maior capacidade que os nós em diamante e meio-trevo incompleto e não induz manobras erradas aos condutores. Por outro lado, os inconvenientes que apresenta são: exige um maior espaço para construção e como no nó anterior, as vias auxiliares a realizar serão sob ou sobre a obra de arte, aumentando o seu vão. De igual modo, na figura 4.5 é ilustrado este tipo de nó [24].



Figura 4.5. – Exemplo de um Nó em Meio-Trevo Completo (Fonte: Google Maps 2012)

4.2.6. NÓ EM TREVO COMPLETO

O Nó em Trevo Completo ocupa os quatro quadrantes disponíveis, sendo constituído por quatro ramos directos e quatro *loops*. Os seus ramos asseguram correntes de tráfego livres não havendo viragens à esquerda. Os movimentos à direita são resolvidos através dos ramos directos e os movimentos à esquerda são realizados pelos quatro *loops*. Este tipo de nó é utilizado quando a importância das estradas a ligar é semelhante. As vantagens inerentes a este nó são: não existem pontos de conflito na estrada secundária pois todas as viragens à esquerda são eliminadas e pode ser construído por fases. Por sua vez, as desvantagens são: exige maior espaço em comparação com os três nós anteriores, tem secções de entrecruzamento na estrada principal limitando a capacidade nessa zona, exige que as vias auxiliares se processem sob ou sobre a obra de arte e é o que tem, em geral, maior custo de construção. Na figura 4.6 é apresentado um exemplo deste tipo de nó de ligação [24].

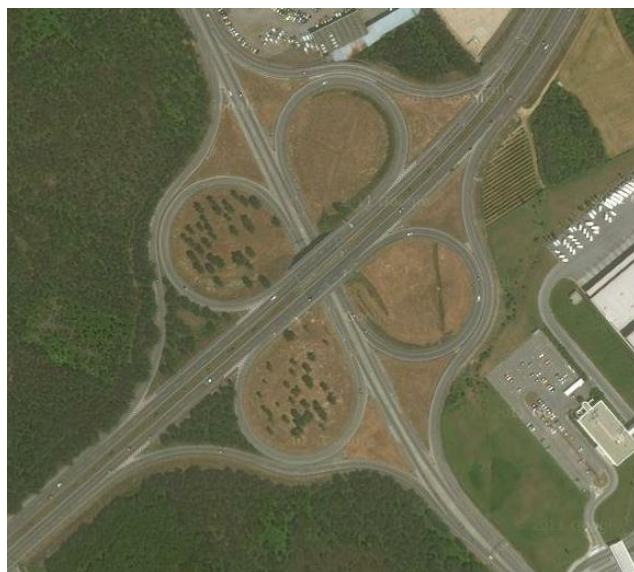


Figura 4.6. – Exemplo de um Nó em Trevo Completo (Fonte: Google Maps 2012)

4.3. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

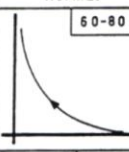
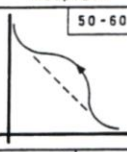
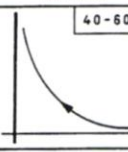
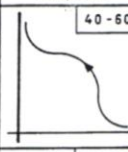
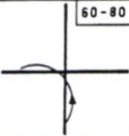
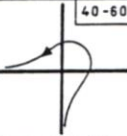
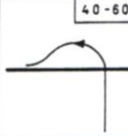
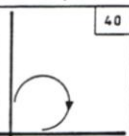
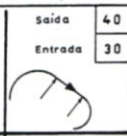
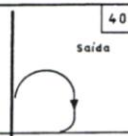
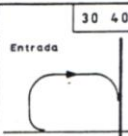
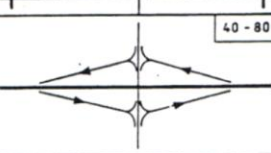
4.3.1. GENERALIDADES

A geometrização de um nó de ligação passa, em primeiro lugar, por juntar todos os dados disponíveis e indispensáveis à sua conceção. Deste modo, será necessário conhecer a localização e as características geométricas das vias existentes e futuras a ligar, a ocupação do solo presente e futuro, o Tráfego Médio Diário Anual das estradas envolvidas e a localização de outras infraestruturas adjacentes que poderão condicionar a geometria do nó [cf. 22 p.22-23].

O estudo de cada nó não deve ser feito de forma isolada, mas de uma perspetiva global, analisando a sua funcionalidade e continuidade do ponto de vista do condutor, de modo a não originar dúvidas, desconforto, diminuição do nível de serviço, bem como insegurança. Logo, o projetista deverá apresentar um estudo cuidado do nó, prever uma sinalização adequada, simples e uniforme, e se necessário, a criação de vias coletoras-distribuidoras, de maneira a eliminar as situações de sobreposição de divergências e convergências (secções de entrecruzamento). O seu custo adicional é diminuto em relação aos benefícios introduzidos, procurando assim, a uniformidade e continuidade ao longo do traçado [cf. 22 p.23-25].

4.3.2. VELOCIDADE ESPECÍFICA

A Velocidade específica ou padrão dos ramos de ligação é um dos primeiros parâmetros a definir pelo projetista. A Norma sugere que a geometrização dos nós de ligação seja em função da Velocidade Base e que a velocidade ideal a considerar no projeto de um ramo de ligação deveria ser 85% da velocidade base da estrada principal a ligar. Porém, a velocidade base a que se chega não é geralmente possível devido a condicionamentos topográficos, urbanísticos e económicos. Assim, a Norma refere que a velocidade base pode variar entre 40 e 80 km/h nos ramos de ligação, indicando na figura 4.7 as velocidades base mais adequadas conforme os ramos de ligação a utilizar pelo projetista [cf. 22 p.43].

RAMOS DE LIGAÇÃO	LIGAÇÕES ENTRE AUTO-ESTRADAS		LIGAÇÕES ENTRE OUTRAS ESTRADAS *	
	TRAÇADO			
	Normal	Adaptado	Normal	Adaptado
DIRECTO	 60-80	 50-60	 40-60	 40-60
SEMIDIRECTO	 60-80	 40-60	—	 40-60
INDIRECTO	 40	 40 saída Entrada 30	 40 saída	 30 40 Entrada
(DIRECTO)	VIAS C-D		 40-80	

* - Podendo uma delas ser auto-estrada

Figura 4.7. – Ramos de ligação - Velocidade Base [cf. 22 p.44]

4.3.3. CURVAS DE TRANSIÇÃO

As curvas de transição são o método previsto para ajustar o traçado à trajetória dos veículos, intercaladas entre um alinhamento reto e uma curva circular ou entre duas curvas circulares. A curva de transição indicada na Norma continua a ser a clotóide e é calculada da mesma forma como em pleno traçado, embora sejam aceites raios inferiores (menores ou iguais a 120 m) e com condições mais restritivas. Não obstante, no caso dos ramos de ligação, os condutores aceitam níveis de incomodidade maiores, ou seja, os valores da variação da aceleração centrífuga no tempo (entre 0,75 e 1,2 m/s³) e da sobreelevação podem ser maiores. Para o cálculo da extensão das curvas de transição seria preciso conhecer a velocidade específica de cada ramal de ligação, sendo esta fixada tendo em conta a situação de não derrapagem para cada raio de curvatura escolhido (equação 3.2). A Norma apresenta a extensão mínima da transição em função dessa velocidade. Porém, o mais correto e que será aplicado na presente dissertação é, utilizando o mesmo quadro apresentado na Norma e em função do espaço disponível para o nó de ligação, da importância da estrada e da topografia, fixar o raio da curva circular, estando associado a cada um uma Velocidade Específica ou Padrão, uma extensão mínima da clotóide, um parâmetro mínimo aproximado da clotóide e uma extensão mínima dos sucessivos arcos de círculos das curvas circulares (quadro 4.2).

Quadro 4.2. – Velocidade Específica, extensão mínima e parâmetro mínimo da clotóide e extensão mínima dos sucessivos arcos de círculo [cf. 22 p.37]

Raio Mínimo (m)	15	25	35	45	60	75	90	120
Velocidade Específica (km/h)	25	30	35	40	45	50	55	60
Extensão mínima da transição (m)	15	21	24	28	32	36	40	45
Parâmetro da clotóide (m)	15,0	22,5	28,0	36,0	45,0	52,0	60,0	75,0
Extensão mínima das curvas circulares (m)	9	11	13	15	18	24	30	36

4.3.4. PERFIL TRANSVERSAL DOS RAMOS DE LIGAÇÃO

Os ramos de ligação, normalmente, só têm uma via por sentido, embora não seja impossível dotar a faixa de rodagem com duas vias. Esta necessidade pode ser devida à grande extensão do ramo (maior que 300 m) permitindo a ultrapassagem, ao Volume Horário de Projeto (superior a 1000 veículos), ou à combinação dos dois, conforme ilustra a figura 4.8. Geralmente, a introdução das duas vias é efetuada numa zona intermédia sendo a sua transição construída com uma curva e contracurva [cf. 22 p.45].

Os ramos de ligação são constituídos pela faixa de rodagem, a berma direita e a berma esquerda. Em alinhamento reto e quando o raio é superior ou igual a 90 m, a faixa deverá ter 4,0 m. Se o raio for inferior a 90 m, a faixa terá 4,0 m mais a correspondente sobrelargura. Assim sendo, a sobrelargura a dotar o ramo de ligação vem em função do raio da curva circular apresentada no quadro 4.3 [cf. 22 p.36-37].

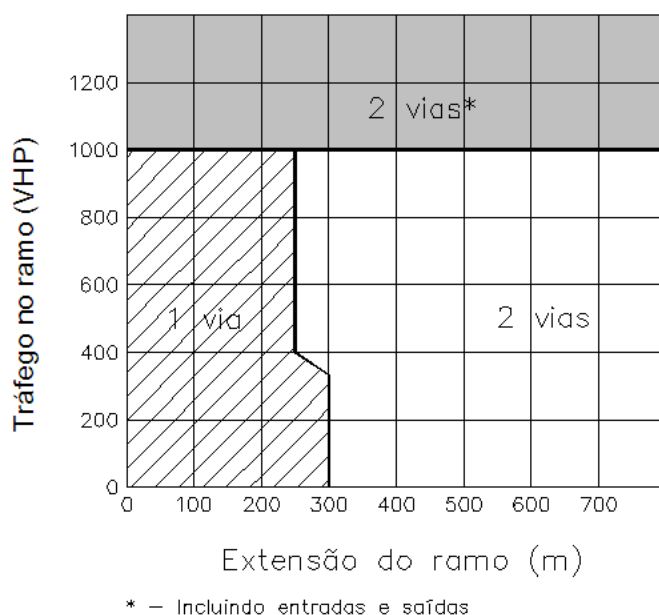


Figura 4.8. - Ramos de ligação - Número de vias [22]

Quadro 4.3. – Sobrelargura das curvas dos ramos de ligação [cf. 22 p.36]

Raio na curva circular (m)	35	45	55	65	75	90
Sobrelargura (m)	2,00	1,25	1,00	0,60	0,30	0,00
Largura Total (m)	6,00	5,25	5,00	4,60	4,30	4,00

Ambas as bermas devem ser pavimentadas para que um veículo pesado ou articulado possa descrever mais facilmente a curva. A berma direita deverá ter 2,5 m e a berma esquerda 1,0 m. Dependendo do tipo de nó a projetar, há soluções em que se podem ter duas vias com sentidos diferentes. Neste caso, as duas vias vêm separadas pela guarda de segurança, normalmente do tipo flexível devido à melhor adaptação aos raios diminutos característicos dos ramos de ligação, com largura mínima de 1,0 m de largura, e pelas bermas interiores [24].

A utilização de lancis não é apropriada nas zonas rurais nem nas zonas de saída da estrada principal, sendo justificada em situações de drenagem difícil, em zonas de intersecções dos ramos de ligação com a estrada secundária, de modo a melhorar a canalização do tráfego e assegurar a continuidade de uma via. O seu posicionamento deve ser exterior às bermas e ser galgáveis [cf. 22 p.37, 51].

Nas figuras 4.9 e 4.10 são apresentados esquemas simplificados dos perfis transversais de ramos unidirecional e bidirecional.

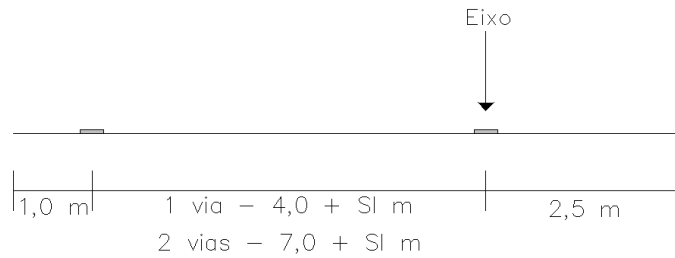


Figura 4.9. – Largura da(s) via(s) da faixa de rodagem e das bermas interior e exterior em ramos unidirecionais [24]

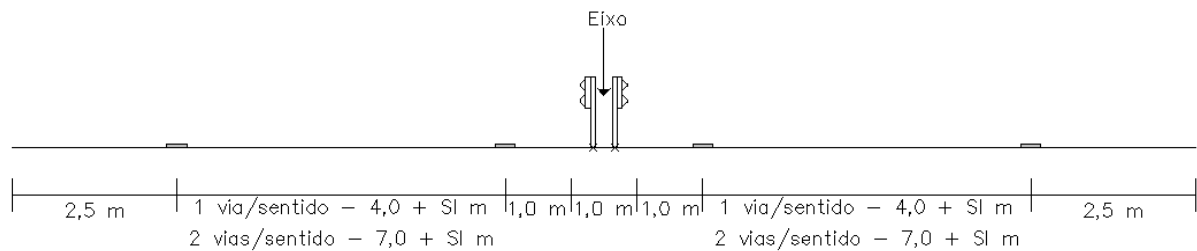


Figura 4.10. – Largura da(s) via(s) da faixa de rodagem e das bermas interior e exterior em ramos bidirecionais [24]

4.3.5. VISIBILIDADE

De maneira aos condutores tomarem as decisões a tempo de evitar manobras que ponham em causa a sua segurança e a dos outros utentes, a distância de visibilidade a assegurar é a de decisão e não a de paragem. Segundo a Norma, esta distância aplica-se em todas as saídas dos IPs e ICs em função da velocidade base e é apresentada no quadro 4.4. No entanto, parece haver uma incoerência devido ao facto de esta distância, direcionada para os condutores da estrada principal, ser igual às apresentadas na Norma do Traçado, mas para a Velocidade do Tráfego e não para a Velocidade Base. Além de que, a própria Norma do Traçado considera que a velocidade que se deve considerar para as distâncias de visibilidade é a do Tráfego (no caso dos IPs e ICs) [cf. 22 p.26].

Quadro 4.4. – Distância de visibilidade de decisão [cf. 22 p.26]

Velocidade Base (km/h)	100	110	120
Distância de Visibilidade (m)	330	370	400

Nas entradas convém garantir a visibilidade sobre a faixa de rodagem, permitindo um reconhecimento das características da estrada principal, para que quando o condutor chegar à zona de convergência possuir uma velocidade e aceleração adequada na inserção da corrente de tráfego da estrada principal. A visibilidade desejável é a indicada na figura 4.11. Se não for possível garantir esta distância, deve-se assegurar pelo menos a visibilidade mínima, a que corresponde um ângulo α superior a 150° . A distância a garantir, pela figura 4.11, deve ser respeitada quando a convergência é feita de imediato, apresentando pouco desenvolvimento da via de aceleração. No caso da via ser paralela, durante uma determinada extensão que permita alcançar valores de velocidade e aceleração semelhantes ao da estrada principal, a visibilidade a garantir na entrada por este método não é a adequada [cf. 22 p.26].

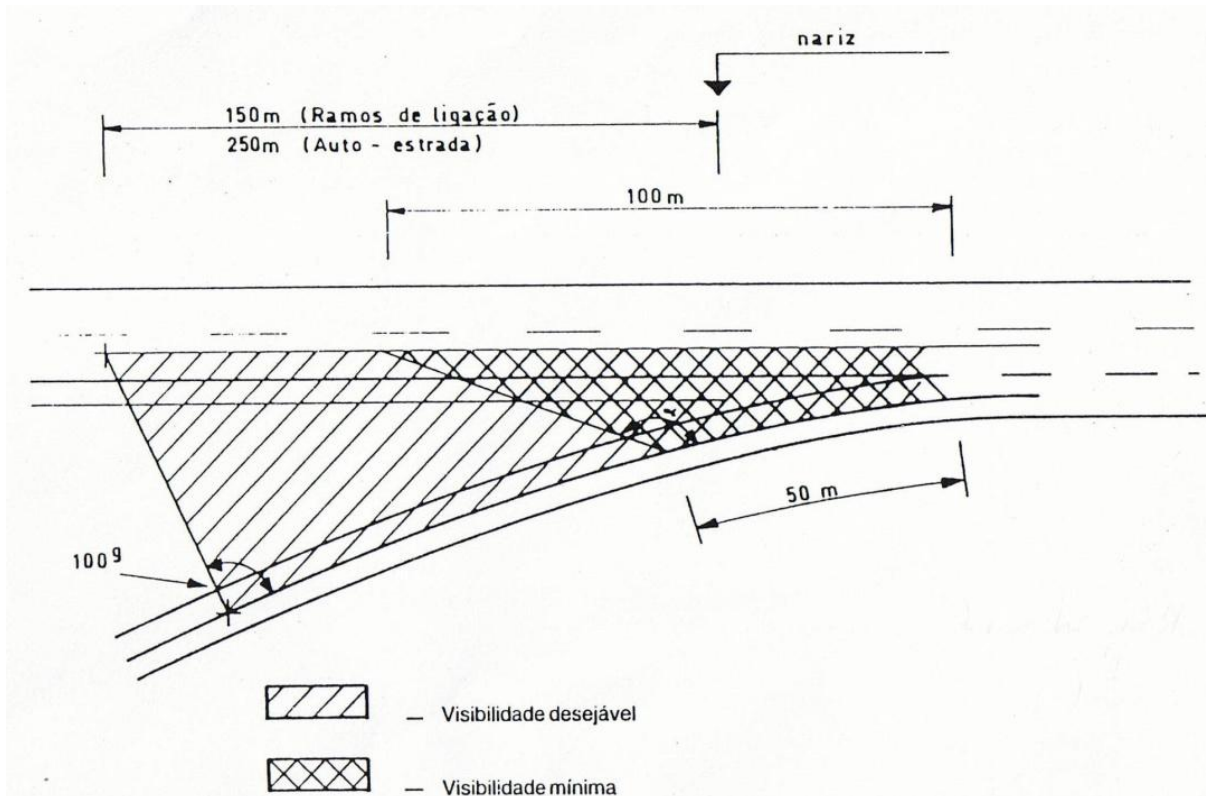


Figura 4.11. – Visibilidade nas entradas [cf. 22 p.27]

4.3.6. PERFIL LONGITUDINAL DOS RAMOS DE LIGAÇÃO

A inclinação das rampas é influenciada pela distância de visibilidade que se deve garantir. As inclinações máximas são apresentadas no quadro 4.5 em função da velocidade específica. A inclinação máxima ideal para os traneis dos ramos de ligação entre IPs e/ou ICs deve ser de 6%. Contudo, nem sempre é possível respeitar este limite, devendo o projetista justificar a sua opção, sempre, se o valor da inclinação for superior. A Norma não evidencia nenhuma inclinação mínima para os traneis dos ramos de ligação. Porém, o mais correto e atuando do lado da segurança, será essa inclinação ser de 0,5%, segundo a Norma do Traçado [cf. 22 p.29].

Quadro 4.5. – Inclinações máximas dos traneis [cf. 22 p.29]

Velocidade Específica (km/h)	Inclinação (%)	
	Rampa	Declive ¹⁸
25 - 40	6 - 8	8
40 - 55	5 - 7	7
55 - 70	4 - 6	6
≥ 70	3 - 5	5

¹⁸ Em casos especiais podem vir aumentados de 2% [22 cf. p.29].

Em relação às concordâncias verticais, este tema já foi abordado nesta dissertação no capítulo 3. A sua aplicação nos nós de ligação é semelhante à do pleno traçado, ou seja, têm as mesmas condicionantes e características. Os raios mínimos das concordâncias convexas são calculados através da equação 3.17, em que a distância de visibilidade a garantir é a de paragem, apresentada no quadro 4.6. No que se refere às concordâncias côncavas, o critério condicionante é o da comodidade, pois o da visibilidade noturna não faz sentido aplicar em ramos de ligação, visto que, normalmente, a sua extensão é diminuta, as velocidades de circulação também e estes devem estar sempre iluminados, garantindo semelhantes condições de segurança às que se conseguem de dia. Deste modo, o cálculo do raio vertical mínimo para as concordâncias côncavas é determinado através da equação 3.21. Ainda no quadro 4.6 é apresentado o valor do raio vertical mínimo para as concordâncias convexas e para as concordâncias côncavas [24].

O desenvolvimento mínimo das concordâncias diz respeito ao conforto ótico sentido por parte dos condutores. Nos nós de ligação, este parâmetro é, de certa forma, mais difícil de cumprir, visto que devido a fatores topográficos, é preciso vencer grandes desníveis em tão pouca extensão dos ramos. Assim, o critério a assegurar será o raio mínimo, respeitante à segurança de circulação.

Na zona de transição entre o perfil longitudinal da estrada principal e do ramo de ligação não pode haver perda de continuidade, nem quebras no perfil.

Quadro 4.6 – Raios mínimos verticais das concordâncias convexas e côncavas

Velocidade Específica (km/h)	30	40	50	60	70	80	100	120
D_v paragem (m)	30	40	60	80	100	120	180	250
R_v mínimo - concordâncias convexas (m)	225	400	900	1 600	2 500	3 600	8 100	15 625
R_v mínimo - concordâncias côncavas (m)	280	495	775	1 115	1 515	1 980	3 090	4 445

4.3.7. SOBREELEVAÇÃO NOS RAMOS DE LIGAÇÃO

Os princípios que levam à definição da sobrelevação nos nós de ligação são os mesmos dos abordados na Norma do Traçado, vistos no Capítulo 3. A sobrelevação máxima permitida é de 12% em curvas de raio diminuto e de sentido unidirecional e a mínima de 2%. No caso de haver perigo de formação de gelo ou neve, a sobrelevação máxima vem limitada a 6 ou 8%. No fim dos ramos de ligação, caso haja necessidade da utilização do sinal *STOP*, os valores da sobrelevação não devem ser muito elevados e mesmo inferiores aos normais [cf. 22 p.31]. No quadro 4.7 apresentam-se a gama de valores das sobrelevações a adotar em ramos de ligação, em função do raio da curva circular e da velocidade específica. Em relação à sobrelevação mínima, o valor que a Norma indica não é aconselhável, devendo ser de 2,5% e não de 2%, a fim de assegurar a drenagem efetiva das águas pluviais [24].

Quadro 4.7. – Sobrelevação nos Ramos de Ligação [cf. 22 p.33]

Raio (m)	Velocidade Específica (km/h)						
	30	35	40	45	50	55	60
25 - 30	2 - 12	-	-	-	-	-	-
35 - 40	2 - 10	3 - 12	-	-	-	-	-
45 - 50	2 - 8	3 - 10	4 - 12	-	-	-	-

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

Nos ramos de ligação, a transição da sobrelevação poderá ter uma taxa de variação maior que em pleno traçado, devido à maior aceitabilidade da incomodidade por parte dos condutores [cf. 22 p.33]. Os valores apresentados no quadro 4.8 são máximos.

Quadro 4.8. – Transição da sobrelevação nas curvas dos ramos de ligação [cf. 22 p.34]

Velocidade no Ramo (km/h)	25 a 30	40	45	50	> 60
Varição máxima da sobrelevação (%) em cada 20,0 m de extensão	5,3	4,7	4,3	4,0	3,3

Quanto ao início da zona de divergência e ao fim da zona de convergência dos ramos de ligação com a estrada principal, deve-se respeitar sempre o perfil transversal da estrada principal. Assim, a diferença algébrica máxima das inclinações transversais da estrada principal e do ramo contíguo (quadro 4.9) deve garantir comodidade e segurança nestas zonas, de forma a não haver quebras abruptas entre as ligações. Um valor limite a reter e definido pelo autor é uma diferença de 5%, porque corresponde à quebra entre duas vias de uma Plena Via Corrente e que são sentidas pelos veículos ultrapassantes sem prejuízo significativo, atuando, assim, do lado da segurança [24].

Quadro 4.9. – Diferença máxima entre a inclinação transversal da estrada principal e de um ramo de ligação [22 cf. p.34]

Velocidade no Ramo (km/h)	25 e 30	40 e 50	> 60
Diferença algébrica máxima (%)	5 a 8	5 a 6	4 a 5

4.3.8. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DAS INTERSECÇÕES DOS RAMOS DE LIGAÇÃO COM A ESTRADA SECUNDÁRIA

Os fatores que influenciam a localização das intersecções com a estrada secundária são: a distância de visibilidade, o custo das expropriações, o custo de construção, a extensão dos percursos relativo às viragens à esquerda, o perfil longitudinal da estrada secundária, a extensão das vias de espera para as viragens à esquerda e a proximidade de outras intersecções. Assim, alguns princípios a garantir nestas

zonas serão apresentados a seguir. Como já referido, a inclinação do trainel da estrada secundária deverá ser igual ou inferior a 4% na zona de intersecção. Se o ramo de ligação terminar em concordância convexa da estrada secundária, os últimos 15,0 m do ramo devem ter uma inclinação inferior ou igual a 5%. Se o perfil do ramo terminar em declive, a concordância côncava no fim do ramo deve ter um raio mínimo de 30 m. A distância de visibilidade (quadro 4.10), face à estrada secundária a partir da viragem à esquerda do ramo de ligação, deve ser tal que um veículo parado efetue a viragem em 7,5 segundos. A visibilidade horizontal pode ser limitada pela existência de guardas, pilares, taludes, etc.. A figura 4.12 representa um exemplo em que a restrição de visibilidade são as guardas de segurança e qual a distância de visibilidade necessária para atravessar a intersecção, admitindo um condutor a 3,0 m da marca de paragem e medida ao eixo da via exterior [cf. 22 p.30].

Quadro 4.10 – Distância de visibilidade - intersecção dum ramo de ligação com a estrada secundária [22]

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

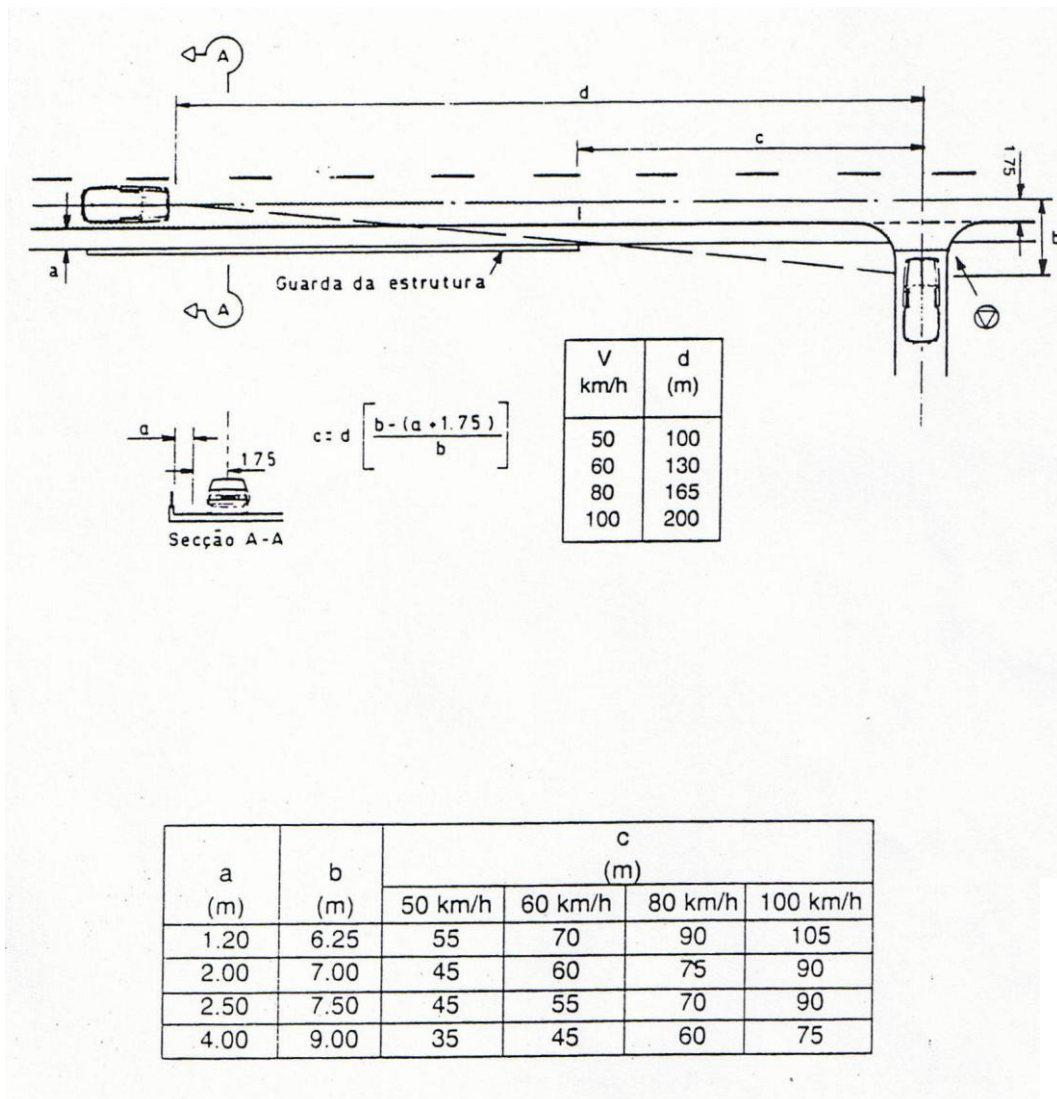


Figura 4.12. – Ramos de ligação - visibilidade nas intersecções [22]

4.3.9. VIAS AUXILIARES

A melhor maneira de entrar e sair da estrada principal é através de vias auxiliares. Estas são as vias de aceleração e de abrandamento localizadas do lado direito da faixa de rodagem, construídas com a finalidade de proporcionar aos veículos espaço que lhes permita, através de manobras de variação de velocidade, entrar e sair da estrada principal com a maior segurança, comodidade e menor interferência possível. A Norma de Nós de Ligação apenas faz referência ao dimensionamento das entradas e saídas de Autoestradas, sendo que o dimensionamento para Outras Estradas é indicado pelas Normas de Intersecções, que será objeto do Capítulo 5.

Mesmo assim, a Norma apresenta princípios importantes no que se refere às vias auxiliares. Deste modo, estas devem localizar-se preferencialmente em alinhamentos retos, e quando se localizarem em curva, assegurar uma boa visibilidade. Se as saídas se localizarem em zonas de escavação é necessário que o afastamento dos taludes garanta a distância de visibilidade. Caso o perfil longitudinal seja em concordância convexa, a saída deve situar-se após o vértice. As entradas devem ser em declive de maneira a facilitar a aceleração dos veículos pesados [cf. 22 p.38].

Quando a saída se localizar depois da obra de arte, os condutores devem ter tempo para se aperceber da sua existência. Assim, a distância da estrutura ao nariz de saída deverá ser igual à extensão do bisel ou *taper* da via de desaceleração mais, pelo menos, 50 metros [cf. 22 p.42].

O termo *nariz* refere-se ao vértice definido pelos limites de duas vias. A Norma define o *nariz* como sendo a *semi-recta perpendicular em bissectriz do ângulo formado por duas faixas de rodagem que convergem ou divergem*. A *cunha* representa a zona imediatamente a seguir a uma divergência ou convergência. A Norma define-a como a *área delimitada por duas faixas de rodagem que convergem ou divergem e pelo nariz*. O traçado da *cunha* na saída da estrada principal é bastante importante, pois deve ser uma zona de visibilidade ótima, de compreensão imediata, de maneira a não criar indecisões aos condutores, bem sinalizada e marcada horizontalmente [cf. 22 p.42, 80].

A distância mínima entre saídas e entradas será de 120 m para outras estradas e de 150 m em autoestradas, sendo esta medida entre narizes [cf. 22 52].

4.4. CONTROLE DE ACESSOS

Os acessos aos Nós de Ligação vêm limitados, isto é, deve existir vedação ao longo dos ramos de ligação, bem como na zona de intersecção com a estrada secundária, em que pelo menos 15 m a partir do extremo das curvas de viragem à direita estão vedados [cf. 22 p.56]. A figura 4.13 procura ilustrar a parte dos acessos que deve estar vedada aos nós de ligação.

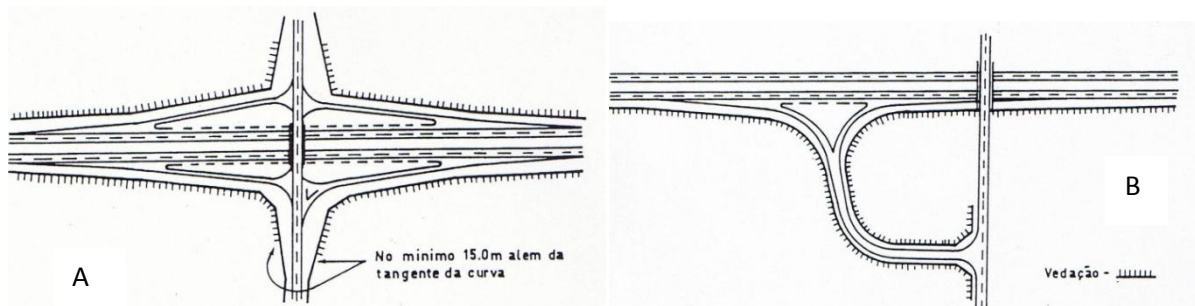


Figura 4.13. – Controle de Acessos (A e B) [22]

5

**GEOMETRIA DE INTERSECÇÕES –
NORMAS****5.1. INTRODUÇÃO**

Uma intersecção de nível pode ser definida como a *zona comum às faixas de rodagem de duas ou mais estradas que se cruzam de nível sob quaisquer ângulos e na qual se podem encontrar os veículos que para ela convergem* [cf. 23 p.64]. Como o cruzamento se faz de nível, estas são consideradas as zonas mais perigosas das estradas, isto é, aquelas em que se verificam um maior número de acidentes. As intersecções mais comuns são em *T* ou em *cruz*. Em relação às intersecções em *cruz* constata-se que têm o dobro da frequência em acidentes do que as intersecções em *T*, visto também terem mais pontos de conflito [cf.23 p.5].

Os pontos de conflito são os locais onde as correntes de tráfego sofrem interferências de outras correntes, ou seja, os locais em que duas correntes de tráfego diferentes se cruzam [24]. Assim, os conflitos são muitas vezes os causadores dos acidentes, dos atrasos e os limitadores da capacidade das vias. Com o objetivo de mitigar os conflitos, as características geométricas de uma intersecção devem ser definidas cuidadosamente. A definição geométrica da intersecção tem por base muitos elementos em comum, mas cada um deve ser tratado especificamente [cf. 23 p.5].

Os principais fatores que influenciam as características geométricas são o tráfego (número e características dos veículos, tipos de movimentos, velocidade permitida, etc.), económicos, físicos (topografia do terreno e características geométricas das vias) e humanos (hábitos dos condutores e facilidade de leitura do cruzamento) [24].

É fundamental, como em plena via, garantir a homogeneidade do traçado das intersecções, pois a expectativa dos condutores é encontrar, ao longo do percurso, características geométricas e operacionais que sejam aquelas a que estão habituados. De um modo geral, o que o condutor espera é a continuidade das vias existentes, a visibilidade necessária para a tomada correta de decisões e a uniformidade dos vários elementos das intersecções. Uma intersecção, tal como um nó de ligação, deve ser sempre iluminada [cf. 23 p.6].

Assim, na conceção de uma intersecção, o projetista procura, ao imaginar as diversas trajetórias, impedir os movimentos indesejados, separar os pontos de conflito no tempo e no espaço, facilitar o controlo da circulação com a sinalização, permitir que as diferenças de velocidade se processem em segurança, minimizar os acidentes e otimizar os movimentos das correntes de tráfego [cf. 23 p.19].

5.2. TIPO DE INTERSECÇÕES

5.2.1. GENERALIDADES

No que se refere à tipologia (características funcionais, geométricas e física das estradas) /importância das estradas, os tipos de cruzamentos enunciados no quadro 5.1 são classificados segundo a figura 4.1. A Norma considera intersecções os cruzamentos das estradas pertencentes à Rede Complementar, exceto os ICs, entre si e com a Rede Municipal. No quadro 5.1 apresenta-se qual a melhor solução a adotar quanto ao tipo de cruzamento, ou seja, dependendo do tipo de estradas a ligar, se é mais conveniente utilizar um nó de ligação ou uma intersecção de nível [cf. 23 p.9].

Quadro 5.1. – Tipo de cruzamentos [cf. 23 p.9]

Tipo	11	12	13	22	23	24	33	34
Intersecção	-	-	-	-	✓ ¹⁹	✓ ¹⁹	✓	✓
Nó de Ligação	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-

As intersecções dividem-se, assim, em dois tipos: intersecção nivelada ou desnivelada. Dentro das intersecções niveladas existem as intersecções com prioridade à direita, as intersecções prioritárias, as intersecções giratórias e as intersecções semaforizadas. Como referido, as intersecções são zonas do traçado com maior perigosidade, sendo aquelas onde se dão mais acidentes, pois é onde existe um maior número de pontos de conflitos. Para minimizar estes riscos, a canalização do tráfego é uma solução adequada, guiando o condutor no seu percurso. Assim, os principais objetivos da canalização são [cf. 23 p.19-20]:

- *Desencorajar, ou proibir, os movimentos indesejáveis ou errados;*
- *Definir claramente as trajetórias que os veículos devem seguir;*
- *Encorajar os condutores a circularem a velocidades convenientes;*
- *Separar no espaço, e no tempo, os pontos de conflito;*
- *Assegurar que o cruzamento das correntes de tráfego se efetue ortogonalmente e as convergências segundo ângulos muito agudos;*
- *Facilitar o movimento das correntes de tráfego prioritárias;*
- *Facilitar o controlo da circulação com sinalização;*
- *Assegurar a desaceleração e a paragem dos veículos fora das vias utilizadas pelo tráfego directo.*

De seguida será realizada uma breve descrição das diferentes tipologias, que abarcam soluções com características funcionais e de desempenho que vão aumentando consoante a numeração.

5.2.2. INTERSECÇÕES SEM CANALIZAÇÃO DO TRÁFEGO

A solução sem canalização (figura 5.1) é a mais simples de todas. Nelas não existe qualquer tipo de ilha canalizadora do tráfego, mas pode ter demarcação pintada horizontal. A circulação dos veículos é regida pela prioridade à direita ou pela sinalização e o seu uso é adequado a zonas residenciais [25].

¹⁹ *Quando o Tráfego Médio Diário na estrada secundária for inferior a 1000 veículos no ano horizonte [23 cf. p.9].*



Figura 5.1. - Exemplo de uma intersecção sem canalização do tráfego (Fonte: Google Maps 2012)

5.2.3. INTERSECÇÕES COM CANALIZAÇÃO DO TRÁFEGO

A utilização deste tipo de intersecções é adequada em zonas com volumes de tráfego reduzidos a moderados, em que há uma predominância de uma das vias. A canalização do tráfego é materializada pelas ilhas direcionais e/ou pela ilha separadora, de modo a assegurar que as correntes de tráfego prioritárias circulem com maior segurança e que a intersecção tenha uma maior capacidade [25]. As correntes de tráfego secundárias serão controladas por sinalização adequada, pelo afinilamento do perfil transversal e pelo encurvamento do traçado. Os objetivos, definidos acima para a canalização, pressupõem a simplicidade que deve ser garantida, de maneira a nem provocar a confusão nem a restrição de movimentos [cf. 23 p.10-11]. Como exemplo, apresenta-se a figura 5.2.



Figura 5.2. - Exemplo de uma intersecção com canalização do tráfego (Fonte: Google Maps 2012)

5.2.4 INTERSECÇÕES GIRATÓRIAS

As intersecções giratórias, ou simplesmente as rotundas, são uma *intersecção em que as diversas correntes de tráfego convergem e divergem numa faixa de rodagem de sentido único em torno de uma ilha central, o que impede o cruzamento direto dos veículos* [cf. 23 p.64]. Neste tipo de intersecção a prioridade é dada a quem circula dentro da rotunda. As características geométricas e funcionais inerentes a esta solução permitem uma redução na sinistralidade e na sua gravidade, pois as viragens à esquerda e os atravessamentos são inexistentes. Outras vantagens que a rotunda proporciona são a

redução dos impactes ambientais, a possibilidade de inversão de marcha e a transição eficaz entre a zona rural e urbana. Porém, não é a melhor solução para os peões e ciclistas [25]. Assim, a escolha deste tipo de solução ilustrado na figura 5.3 é aconselhável se os volumes de tráfego nos vários ramos forem idênticos, se os volumes referentes às viragens à esquerda forem superiores aos volumes que se cruzam e se o número de ramos que se cruza for igual ou superior a quatro [cf. 23 p.15].



Figura 5.3. - Exemplo de uma intersecção giratória (Fonte: Google Maps 2012)

5.2.5 INTERSECÇÕES SEMAFORIZADAS

Este tipo de solução, à semelhança das rotundas, apresenta uma capacidade elevada e com custos moderados. A prioridade é dada alternadamente às correntes de tráfego através da sinalização luminosa, sendo uma boa solução quando existem flutuações nos fluxos do tráfego. Em relação aos peões, é uma solução melhor que a anterior pois estes têm um tempo específico para efetuar o atravessamento, geralmente sem interferência dos veículos motorizados e sempre com prioridade em relação a estes [25]. Na figura 5.4 é apresentado um exemplo desta tipologia.



Figura 5.4. - Exemplo de uma intersecção semaforizada (Fonte: Google Maps 2012)

5.2.6 INTERSECÇÕES DESNIVELADAS

As intersecções desniveladas são a solução de maior desempenho possível com níveis elevados de capacidade e nas quais a eliminação dos pontos de conflito pode ser total ou parcial. Porém, o seu custo é também mais elevado devido à necessidade de um maior espaço de ocupação [25]. Este tipo de intersecções é o caso dos nós de ligação.

5.3. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS INTERSECÇÕES

5.3.1. GENERALIDADES

Sendo uma intersecção o cruzamento de pelo menos duas estradas, haverá uma que é prioritária em relação à outra, isto é, haverá uma estrada principal e outra secundária. Estas serão definidas geometricamente em função de diferentes elementos condicionantes à segurança. No caso da estrada principal, as intersecções não devem localizar-se em concordâncias verticais convexas, em trainéis cuja inclinação seja maior do que 4% e em curvas de raio diminuto em relação ao Raio Normal, nem no seu intradorso. Em relação à estrada secundária, esta deve ser definida de maneira a propiciar uma diminuição de velocidade dos veículos que esperam entrar na principal [cf. 23 p.20].

5.3.2. VISIBILIDADE

Um fator que influencia a forma como os condutores encaram a aproximação a uma intersecção é a visibilidade que têm para esta, ao circular à Velocidade Base. A distância de visibilidade a considerar é a de paragem, pois a ultrapassagem é proibida nas intersecções em vias com dois sentidos. A distância mínima de visibilidade de paragem (quadro 5.2) deve ser assegurada em cada ramo de viragem de uma intersecção, bem como a melhor intervisibilidade entre todos os veículos, em função da Velocidade Base. No caso da intersecção estar localizada em curva, a distância mínima de visibilidade lateral é medida em reta sobre uma linha imaginária situada sobre o pavimento e a 1,5 m da aresta interior do mesmo [cf. 23 p.21-22].

Devido à prioridade da estrada principal, os ramos da estrada secundária devem ser munidos de sinalização adequada, ou seja, com sinal *STOP*. Se a estrada principal tem de garantir boa visibilidade em relação à estrada secundária, o mesmo acontece para quem estiver na secundária, pois é necessária para a tomada de decisão dos condutores no sentido de atravessar com segurança a intersecção. A Norma menciona o triângulo mínimo de visibilidade como forma de assegurar a visibilidade. A figura 5.5 ilustra como deve ser obtido o triângulo de visibilidade num cruzamento. No quadro 5.3 são apresentados os valores de d . Os valores apresentados dependem da velocidade base, do tempo de percepção/reação do condutor para o arranque do veículo parado, geralmente dois segundos, e do tempo necessário para atravessar a via principal, 11 segundos em estradas de duas vias e 13 segundos no caso de 2×2 vias. Ainda é considerado que o veículo que cede a prioridade, é articulado, com 18,0 m de comprimento e situado a 3,0 do limite da faixa de rodagem. Constata-se que esta distância será sempre superior à distância de paragem, mas se não for possível cumpri-la, deverá limitar-se a velocidade através de sinalização [cf. 23 p.22].

Quadro 5.2. - Distância de visibilidade de paragem [cf. 23 p.21]

Velocidade Base (km/h)	40	50	60	70	80	100	120
Distância mínima (m)	40	60	80	100	120	180	250

Quadro 5.3. - Distância de visibilidade na estrada principal (d) [cf. 23 p.26]

Velocidade Base (km/h)	Distância de visibilidade (m)	
	2 Vias	2 x 2 Vias (Separador ≤ 5,0 m)
40	145	170
50	185	210
60	220	250
70	255	300
80	290	340
100	365	420
120	435	500

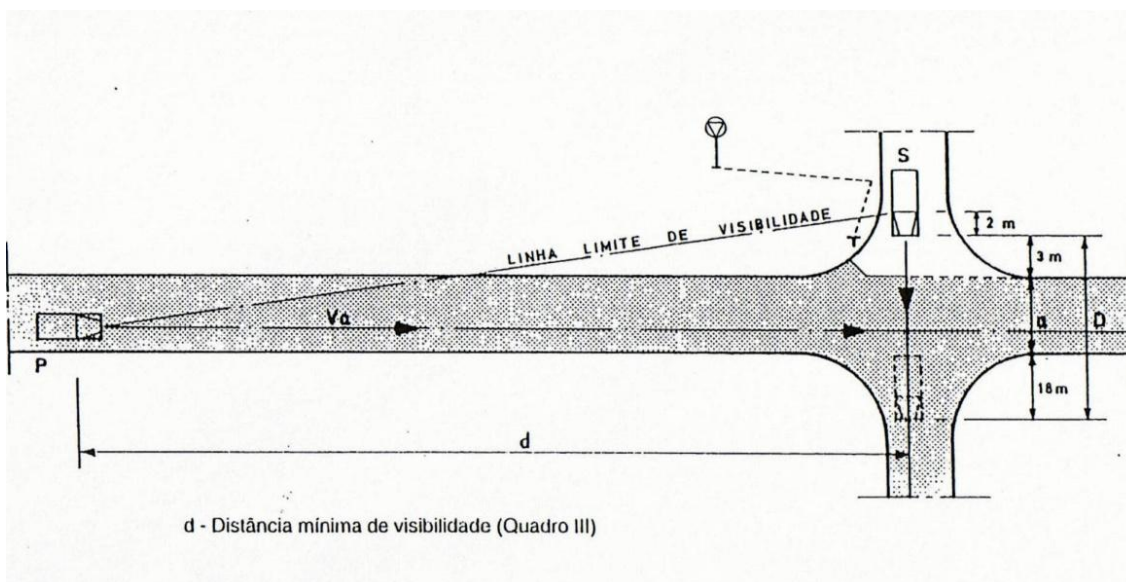


Figura 5.5. - Triângulo mínimo de visibilidade [cf. 23 p.23]

5.3.3. ESTRADA SECUNDÁRIA

A estrada secundária deverá ter, sempre que possível, uma posição ortogonal à estrada principal devido à maior facilidade que este ângulo permite aos condutores de efetuarem o atravessamento. A concepção do seu traçado deverá ter em conta que, na zona de intersecção, é obrigatório o abrandamento dos veículos que pretendem entrar na via principal e deve-se facilitar as viragens dos veículos que saem desta. Na intersecção, esta deverá ser constituída por uma ilha separadora e por duas ilhas direcionais, caso a estrada principal seja nacional ou municipal, com o intuito de avisar os condutores da proximidade de uma intersecção [cf. 23 p.38].

A ilha separadora tem como função separar os sentidos de circulação na estrada secundária, melhorando a segurança ao canalizar, no mínimo, os movimentos de sentido contrário e ao obrigar a uma deflexão da trajetória dos veículos e, conseqüentemente, a uma redução da velocidade. O seu traçado deve ter em atenção as seguintes recomendações [cf. 23 p.41]:

- O ângulo do eixo da estrada secundária com o da estrada principal (ângulo de intersecção) deverá estar compreendido entre 80 e 120 grados.
- O comprimento da ilha separadora depende da categoria da intersecção. Quando a estrada secundária for nacional, o comprimento deverá ser de 20 metros.
- A largura da ilha separadora depende do comprimento. Consequentemente, quando a estrada secundária for nacional essa largura deverá ser de 5,0 metros. A largura será de 3,0 metros quando a estrada secundária for municipal.
- Os raios de viragem à esquerda dependem do ângulo da intersecção e do perfil transversal da estrada principal na zona de intersecção. No quadro 5.4 indicam-se os raios mais convenientes.
- A transição entre o perfil tipo da estrada secundária, e o perfil transversal na zona da ilha separadora, deverá ser efectuada numa extensão de pelo menos 60,0 metros, a partir do extremo montante da ilha.
- O extremo montante da ilha separadora, cuja largura deverá ser de 1,50 m, deverá ficar recuado 1,00 metro do alinhamento da via de saída da estrada secundária.
- O extremo jusante da ilha separadora deverá ficar afastado do limite da faixa de rodagem da estrada principal no mínimo 2,0 metros, e no máximo 4,0 metros.
- A largura da via de saída da estrada secundária deverá ser, normalmente, de 4,0 metros, e a da via de entrada de 5,0 metros. A largura das curvas de viragem à esquerda será a correspondente ao respectivo raio.

Quadro 5.4 - Raios de viragem à esquerda em função do ângulo da intersecção [cf. 23 p.42]

Estrada Principal	Ângulo da Intersecção (grados)									
	80		90		100		110		120	
	RES ²⁰	REP ²¹	RES	REP	RES	REP	RES	REP	RES	REP
2 x 2 vias e via de viragem à esquerda	16	24	18	22	20	20	22	18	24	16
2 vias e via de viragem à esquerda	14	22	16	20	18	18	20	16	22	14
2 vias	12	18	12	16	13	13	16	12	18	12

De ressaltar que alguns desses condicionantes são excessivos, como mostra a prática comum de condução em intersecções existentes.

A parte jusante da ilha separadora é delimitada pelos raios de viragem à esquerda, que dependem do ângulo de intersecção. A segurança aumenta se a intersecção também tiver ilhas direcionais, sendo as suas principais vantagens uma melhor perceção das intersecções, uma melhor canalização do tráfego e o incitamento à redução da velocidade devido às vias individualizadas [cf. 23 p.42].

²⁰ RES – raio da viragem à esquerda de saída da estrada secundária [cf. 23 p.42].

²¹ REP – raio da viragem à esquerda de saída da estrada principal [cf. 23 p.42]

Deste modo, para não passarem despercebidas, a sua superfície deverá ter pelo menos 6,0 m², sendo o ideal de 9,0 m², com o lado menor maior ou igual a 2,5 m. A Norma recomenda o preenchimento com turfa ou terra vegetal o interior das ilhas. Junto à estrada principal, estas devem estar afastadas pelo menos 2,0 m da faixa de rodagem, no alinhamento da berma. Quando a estrada principal for em curva, a aresta da ilha direcional deverá ser em curva, exceto se a sua extensão for menor que 4,0 m. Nesse caso, adota-se alinhamento reto. No início das vias de entrada, os vértices das ilhas direcionais deverão estar recuados 0,75 m. Na figura 5.6 está representado um esquema da ilha direcional, com os raios recomendados nos vértices da ilha e o seu afastamento em relação à faixa de rodagem. Para uma melhor segurança, as faixas de rodagem deverão estar providas de sinalização horizontal e os vértices da ilha deverão ter a forma arredondada e ser facilmente visíveis, mesmo à noite através de refletores [cf. 23 p.42-43].

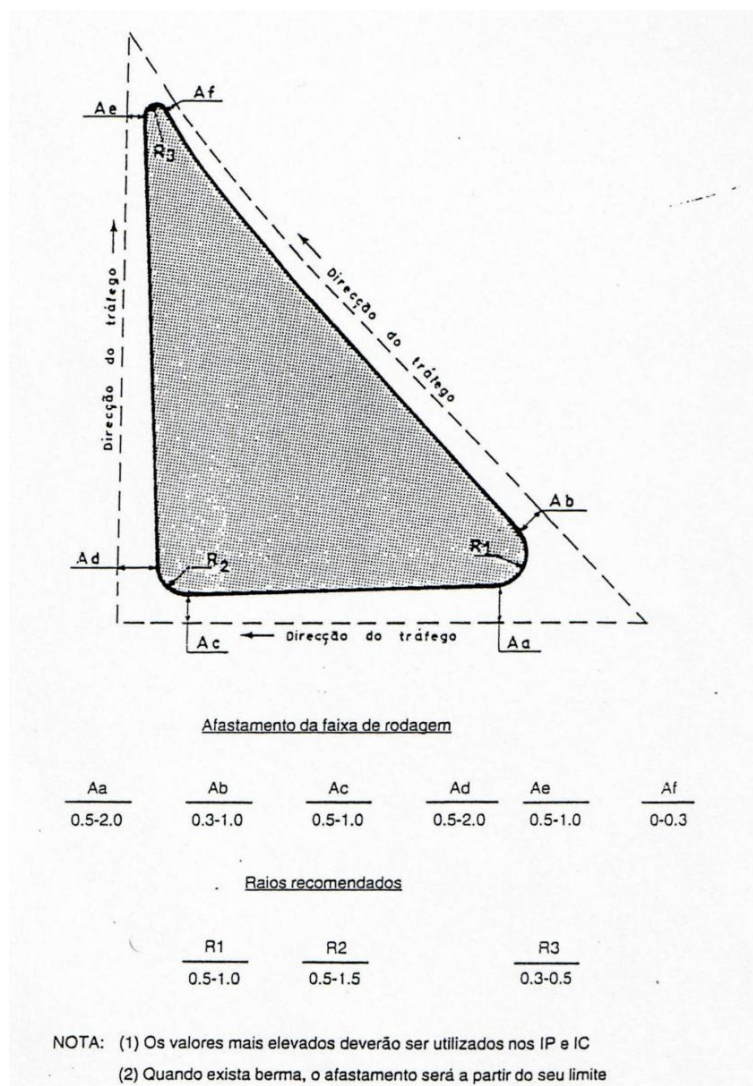


Figura 5.6. - Esquema da ilha direcional [cf. 23 p.44]

Relativamente às viragens à direita, convém ter em atenção o diferencial entre a velocidade à qual pode ser feita a viragem e a velocidade média do tráfego na estrada principal, de forma a não serem criadas condições de colisões na retaguarda. Os raios mínimos das curvas de concordância para as viragens à direita são os constantes no quadro 5.5. A Norma indica que a largura das vias de viragem à

direita, para raios maiores ou iguais a 25,0 m deverá ser 5,5 m. A regra geral é, no entanto, larguras de 5,0 m devido a não criar espaço que permita a circulação de dois carros paralelamente. As bermas das curvas de concordância deverão ter um largura mínima de 2,5 m e serem revestidas cf. [23 p.45].

Quadro 5.5. - Raio mínimo das curvas de viragem à direita [cf. 23 p.45]

Ângulo da Intersecção (grados)	Raio Mínimo (m)	
	Camiões	Veículos Articulados
80	15	20
90	15	20
100	20	25
110	20	25
120	25	30

Em relação à sobreelevação, a Norma recomenda que *nas curvas de concordância de uma intersecção não é possível adotar sobreelevação correspondente ao respetivo raio devido ao seu diminuto desenvolvimento. Devem porém assegurar-se a sobreelevação mínima de 2% (melhor seria de 2,5%) e sempre que possível 5%* [cf. 23 p.45].

5.3.4. VIAS AUXILIARES

As vias auxiliares são adjacentes à faixa de rodagem da estrada, construídas com o intuito de fornecer espaço aos veículos que lhes permita executar em segurança as manobras de variação de velocidade, de forma que a interferência com a corrente de tráfego que circula na via principal seja mínima. É fundamental a sua construção quando existem nós de ligação, facilitando, deste modo, a aceleração no caso de entrada na estrada principal e de abrandamento na saída da estrada principal [24]. Quanto à sua utilização em intersecções de nível, estas podem existir ou não dependendo essencialmente da importância da intersecção e dos volumes de tráfego (quadro 5.6), com uma extensão menor que as usadas nos Itinerários Principais, pois a ordem de grandeza das velocidades é desigual [cf. 23 p.27]. A classificação das intersecções no quadro 3.28 tem por base a figura 3.19.

Quadro 5.6. - Casos de adoção de Vias Auxiliares [cf. 23 p.27]

Estrada	Intersecções			
	23	24	33	34
Principal	✓	✓	✓ ²²	✓ ²²
Secundária	-	-	-	-

Sendo assim, a via de aceleração permite aos veículos alcançar a velocidade conveniente para se inserirem na corrente de tráfego principal. A via de desaceleração permite que os veículos saiam da corrente principal e que abrandem a velocidade para os valores da nova corrente, inferior à da principal.

²² Quando devidamente justificadas em função dos volumes de tráfego.

As vias de aceleração e desaceleração podem ser do tipo paralelo ou diagonal. As vias do tipo paralelo são constituídas por um *taper* seguidas ou precedidas de uma via paralela de largura constante, normalmente 3,5 m. As do tipo diagonal são vias que fazem um ângulo com a via principal e são constituídas por um bisel retilíneo, quando em reta [24]. As figuras 5.7 e 5.8 ilustram os dois tipos de vias auxiliares.

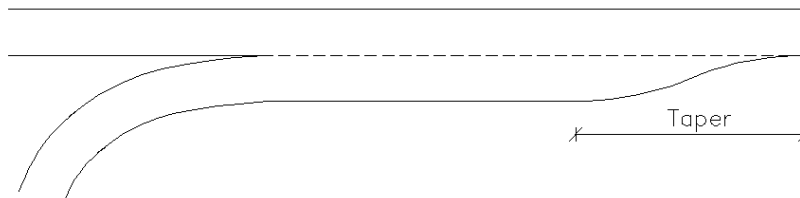


Figura 5.7 - Exemplo de uma via auxiliar (vias de aceleração) do tipo paralelo [24]

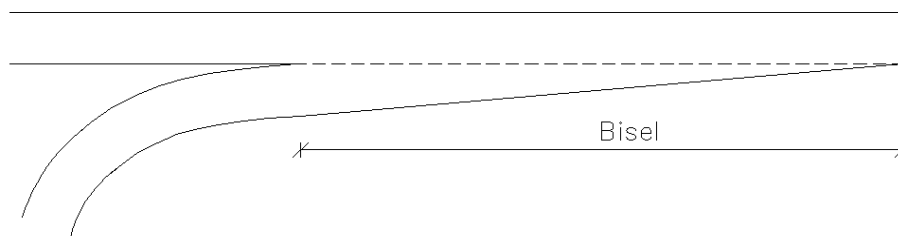


Figura 5.8 - Exemplo de uma vias auxiliar (via de aceleração) do tipo diagonal [24]

Em relação às vias de desaceleração, segundo a Norma, o tipo mais adequado a implementar para as viragens à direita é o diagonal, constituídas por um bisel de saída retilíneo, uma curva de transição e um arco de círculo. A utilização destas vias de desaceleração depende dos volumes de tráfego referentes à estrada principal e do que pretende efetuar a viragem. No caso das viragens à esquerda para a estrada secundária e armazenamento na estrada principal, estas devem ser realizadas por vias de abrandamento centrais e do tipo paralelo, com uma largura de 3,5 m ([cf. 23 p.28], [24]).

O tipo de vias de abrandamento utilizado pelo autor será apenas o paralelo por razões de segurança, comodidade e por apresentarem um maior espaço para os condutores efetuarem a transição.

As vias de aceleração mais aconselháveis são as do tipo paralelo, constituídas por um arco de círculo seguido por uma curva de transição, uma extensão paralela à estrada e um bisel ou *taper*. A largura destas vias deve ser de 3,5 m [cf. 23 p.33].

Porém, o valor da extensão das vias de aceleração e desaceleração, segundo a Norma do Traçado de Intersecções, não depende nem do raio da curva que as segue ou antecede no interior do ramo do nó de ligação, nem da inclinação da rasante da estrada principal, no caso das vias de aceleração. Constatou-se que os valores da extensão das vias de aceleração são curtos, pois apenas se toma em consideração a velocidade base, enquanto a velocidade do tráfego é superior. Assim, tendo em conta estes fatores, o autor irá, ao longo da dissertação, utilizar as Normas Espanholas apenas no dimensionamento das vias auxiliares, pois traduzem melhor a realidade necessária, em que a extensão das vias de aceleração (incluindo o *taper*) depende da velocidade específica da última curva do ramo, da velocidade da estrada principal, do raio mínimo da curva e da inclinação da rasante da estrada principal. Nos quadros 5.7 e 5.8 apresentam-se os valores da extensão das vias auxiliares segundo as Normas Espanholas. Nos

quadros 5.9 e 5.10 apresentam-se os valores dos fatores multiplicativos a aplicar quando a inclinação da estrada principal é superior ou igual a 3%.

Quadro 5.7 - Extensão das Vias de Abrandamento para traneis com inclinação menor a 3% [24]

Vias de Abrandamento								
Velocidade específica do ramo (km/h)	STOP	25	30	40	50	60	80	
Raio mínimo da curva (m)		15	25	45	75	120	250	
Velocidade da estrada principal (km/h)	Taper (m)	Extensão da via de abrandamento incluindo o 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

Quadro 5.8 - Extensão das Vias de Aceleração para traneis com inclinação menor a 3% [24]

Vias de Aceleração								
Velocidade específica do ramo (km/h)	STOP	25	30	40	50	60	80	
Raio mínimo da curva (m)		15	25	45	75	120	250	
Velocidade da estrada (km/h)	Taper (m)	Extensão da via de aceleração incluindo o taper						
Estradas com grande intensidade de tráfego	50	45	90	70	55	45	-	-
	60	55	140	120	105	90	55	-
	70	60	185	165	150	135	100	60
	80	65	235	215	200	175	150	105
	100	75	340	320	305	290	255	210
	120	90	435	425	410	390	360	300
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
	120	90	340	320	300	275	250	195

Quadro 5.9 - Fator multiplicativo para Vias de Abrandamento [24]

	Velocidade da Estrada (km/h)	Todas
	Inclinação	Fator Multiplicativo
Rampa	3 a 4%	0,9
	5 a 6%	0,8
Declive	3 a 4%	1,20
	5 a 6%	1,35

Quadro 5.10 - Fator multiplicativo para Vias de Aceleração [24]

		Velocidade específica no ramo de ligação (km/h)					Todas
		30	40	50	60	80	
Inclinação →		Rampa - 3 a 4%					Declive - 3 a 4%
Velocidade da estrada (km/h)	50	1,3	1,3	-	-	-	0,7
	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	-	0,75
	100	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	0,6
	120	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	0,6
Inclinação →		Rampa - 5 a 6%					Declive - 5 a 6%
Velocidade da estrada (km/h)	50	1,5	1,5	-	-	-	0,6
	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	2,0	2,2	2,6	0,5
	120	2,1	2,2	2,3	2,6	3,1	0,5

5.3.5. CONSTRUÇÃO DO TAPER

O *taper* não é mais do que uma curva e contracurva circulares tangentes entre si, que é utilizado na transição das vias auxiliares para a estrada corrente, para o aumento ou restrição do número de vias, para o aumento da largura de uma faixa de rodagem e na abertura de um separador. A sua construção é diferente, caso seja em reta, curva circular ou curva de transição. No presente projeto apenas serão apresentadas as fórmulas finais que permitem o cálculo geométrico do *taper* e não a sua dedução, pois não é este o âmbito desta dissertação [24].

Assim, o *taper* em reta tem como base o esquema da figura 5.9.

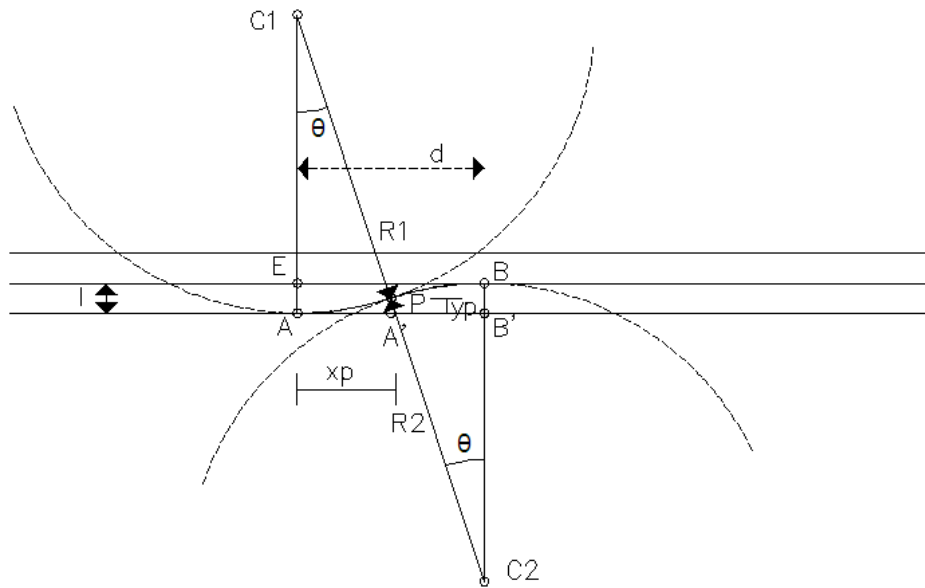


Figura 5.9 - Esquema para a definição geométrica do *taper* em reta [24]

A partir da geometria da figura 5.9 é possível desenvolver o sistema:

$$(R_1 + R_2) \times \cos(\theta) = R_1 + R_2 - l \quad (5.1.)$$

$$(R_1 + R_2) \times \sin \theta = d \quad (5.2.)$$

resultando em,

$$R_1 + R_2 = \frac{d}{\sin(\theta)} \quad (5.3.)$$

$$\theta = 2 \times \tan^{-1} \left(\frac{l}{d} \right) \quad (5.4.)$$

Para este caso, o d será a extensão do *taper*, retirado das Normas Espanholas e o l a largura da via auxiliar. Conhecendo estes valores, obtém-se o valor de θ e daqui os raios necessários, considerados iguais [24].

Para o outro caso referido, se o *taper* se situar em curva, a figura 5.10 pretende ilustrar como será a sua construção.

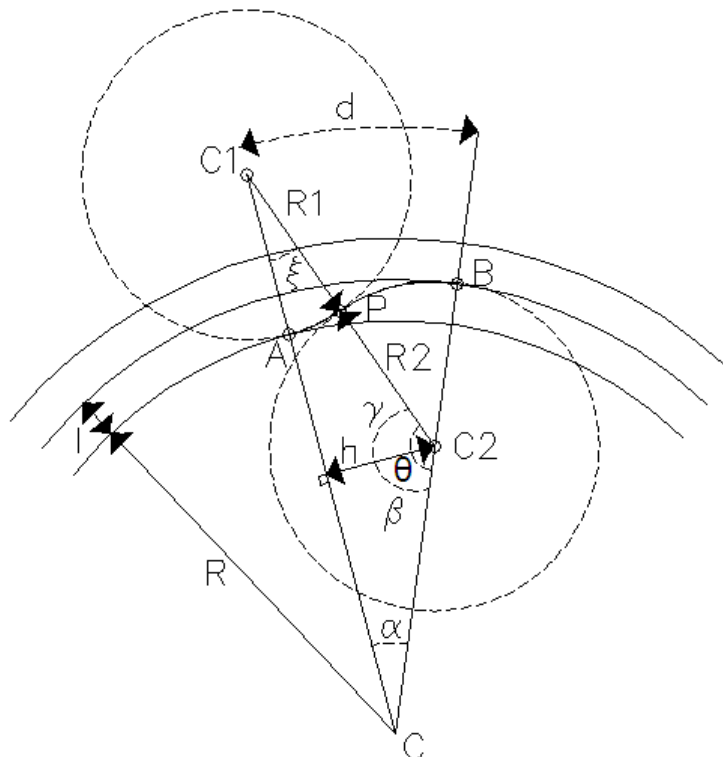


Figura 5.10. - Esquema para a definição geométrica do taper em curva [24]

Uma vez mais, através da geometria da figura e pela Lei dos Cossenos é possível desenvolver o sistema:

$$(R + R_1)^2 = (R + l - R_2)^2 + (R_1 + R_2)^2 - 2 \times (R + l - R_2) \times (R_1 + R_2) \times \cos(\theta) \quad (5.5.)$$

$$h = (R + l - R_2) \times \sin(\alpha) = (R_1 + R_2) \times \sin(\xi) \quad (5.6.)$$

Sabendo que os ângulos α , θ , ξ , γ e β estão relacionados, que $\alpha=d/R$, $\xi = \pi-\theta-\alpha$ e considerando $R_1=R_2$, é possível obter o ângulo θ e um dos raios, permitindo a piquetagem do taper [24].

5.3.6. CONSTRUÇÃO DA ILHA SEPARADORA

Como referido, o ângulo da intersecção entre as duas estradas deve ser o que permite percorrer o cruzamento no menor tempo possível, sendo esta a solução a procurar. A norma explica, ainda, os passos necessários à geometrização da ilha separadora, descritos a seguir e acompanhados pela figura 5.11, no caso do ângulo da intersecção ser ortogonal [cf. 23 p.51]:

1. Traçam-se duas semi-rectas paralelas ao eixo da estrada secundária as quais definem a largura máxima da ilha separadora (5,0 m quando for nacional).
2. Define-se o intradorso da curva de viragem à esquerda de saída da estrada secundária, cujo raio será o indicado no quadro 5.4. No caso de "Intersecções em Cruz" é necessá-

rio assegurar que não haja interferência entre as trajectórias dos veículos que virem simultaneamente à esquerda, a partir da estrada secundária.

3. Define-se o intradorso da curva de viragem à esquerda de saída da estrada principal, cujo raio é também indicado no quadro 5.4.
4. Define-se a cabeça jusante da ilha separadora, cujo raio ($> 0,75$ m) deverá ser tal que esta se situe no mínimo a 2,0 m, e no máximo a 4,0 m, do limite da faixa de rodagem da estrada principal.
5. Traçam-se duas semi-rectas tangentes ao intradorso das curvas de viragem à esquerda, e que interceptem o eixo da estrada secundária a 40,0 m da faixa de rodagem da estrada principal.
6. Traça-se a cabeça montante da ilha separadora, a qual terá a largura de 1,5 m, e ficará afastada 1,0 m da faixa de rodagem de saída da estrada secundária.
7. Traça-se uma semi-recta tangente à cabeça montante e ao intradorso da curva de viragem à esquerda de saída da estrada secundária.

Para os ângulos de intersecção entre 80 e 100 grados e 100 e 200 grados, a Norma prevê que a metodologia a usar seja a descrita anteriormente. Nas situações em que o ângulo é menor que 80 grados e maior que 120 grados, a metodologia é semelhante mas com pequenas variações que não serão abordadas na presente dissertação [cf. 23 p.51].

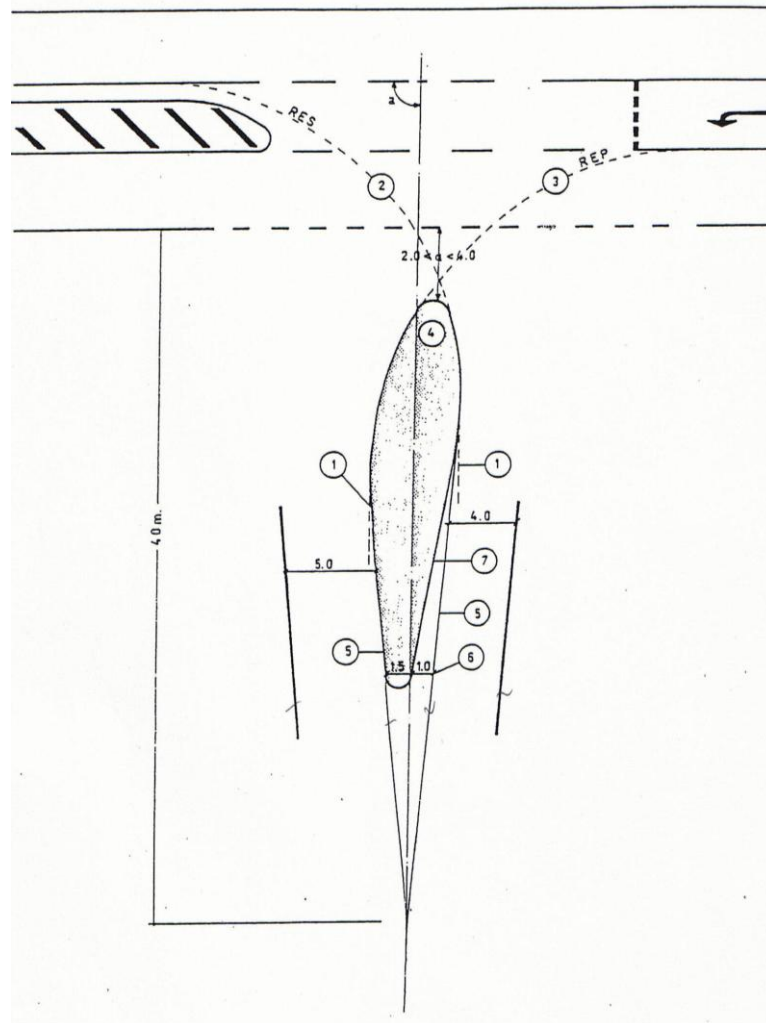


Figura 5.11. - Traçado da ilha separadora - $80 \text{ gr} < \text{ângulo da intersecção} < 120 \text{ gr}$ [cf. 23 p.53]

6

Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo – Memória Descritiva e Resultados

6.1. INTRODUÇÃO

O contexto desta dissertação, como já foi referido, é a geometrização de um nó de ligação entre duas estradas. Após uma introdução normativa de base ao projeto, bem como uma revisão dos conhecimentos teóricos necessários, neste capítulo é apresentada a Memória Descritiva e os resultados obtidos na procura da solução final do Projeto de Execução do Nó de Ligação. Ao longo desta última, o autor testa várias opções na definição dos elementos constituintes do projeto e, tenta aplicar a que melhor se enquadra, face aos condicionamentos que surgem num projeto desta natureza.

A definição geométrica do Nó de Ligação e todas as alterações geométricas e físicas necessárias são realizadas com o apoio do *software* de desenho Autocad, fornecido pela Autodesk, Inc. e do *software* de cálculo Microsoft Office Excel da Microsoft. O primeiro recurso, Autocad Civil 3D, é um *software* de desenho assistido por computador utilizado nas várias vertentes da Engenharia Civil e não só, sendo uma das plataformas para a definição geométrica de qualquer projeto. O Microsoft Excel é uma ferramenta de cálculo e construção gráfica. É a partir deste que são testadas as alternativas através da mudança de um ou outro parâmetro caracterizador dos elementos do projeto. Os valores apresentados, ao longo do presente capítulo, têm como base esta ferramenta, permitindo também a sua transposição para o Autocad. A introdução manual dos valores no AutoCad, os quais permitem a piquetagem dos elementos que constituem a diretriz e o perfil longitudinal, é feita através de coordenadas retangulares. Isto é, sendo o Autocad uma ferramenta possuidora de um sistema de coordenadas e conhecendo as coordenadas exatas de um ponto inicial, a distância ao próximo ponto e a respetiva orientação azimutal, é possível obter as restantes coordenadas que permitem a definição dos elementos geométricos e a sua piquetagem. O sistema de coordenadas utilizado tem a sua origem na localidade de Melriça, onde se situa o centro geodésico de Portugal.

Os dados fornecidos pelo orientador foram: a planta topográfica à escala 1:2000 (desenho nº 1 – Peças Desenhadas) que apresenta a diretriz da Estrada Principal (EP), a diretriz da Estrada Secundária (ES), a superfície do terreno e a ocupação do solo; e o perfil longitudinal do terreno, bem como da Estrada Principal (desenho nº 2 – Peças Desenhadas).

A partir dos pontos georreferenciados fornecidos na planta topográfica, sabemos assim as coordenadas (M; P) dos seus pontos e conseqüentemente a distância que os separa. Introduzindo essas coordenadas no *site* do Instituto Geográfico do Exército, a partir da plataforma IGeoE-SIG foi possível conhecer a localização real e exata do Nó de Ligação a projetar.

Assim, o Nó de Ligação a implementar situa-se no distrito de Bragança, no concelho de Vila Flôr, a sul da freguesia da Trindade. A estrada principal é um lanço do IP 2 localizado nas encostas do Vale da Vilariça, a sul do aglomerado populacional da Trindade. O troço em questão faz parte da solução base do projeto. A estrada secundária é a EN 214 que liga Tua a Vila Flôr. O troço de intervenção situa-se na parte final da EN entre Vila Flôr e Trindade, passando por Bemlhevai, sendo uma estrada nacional de pequena importância. Através do *site* da EP, SA tentou-se obter informações sobre o tráfego na zona, mas eram inexistentes. O autor prevê, com base em estudos feitos devido ao IP 2, que este seja inferior a 100 veículos por hora. Deste modo, o tráfego não será um fator condicionante na escolha do *layout*, mas sim o seu custo de construção.

6.2. CONDICIONAMENTOS E DEFINIÇÃO DO LAYOUT

O passo seguinte é definir qual o *layout* do nó de ligação. Na sua escolha entram fatores como o tráfego, a importância das estradas a ligar e a ocupação do solo. As hipóteses iniciais estudadas foram: Nó em Diamante sem e com rotundas na estrada secundária, Nó em Meio-Trevo Incompleto e Nó em Meio-Trevo Completo. Analisando a área envolvente à localização do nó, verifica-se que esta é constituída por searas, pomares, vinhas, oliveais, áreas reflorestadas e bosques de sobreiro (desenho n.º1 – Peças Desenhadas). Encontram-se também pequenas explorações, onde a agricultura de sobrevivência é predominante e algumas construções (casas). O terreno é classificado, então, como montanhoso com zonas de encostas e vales. No troço a estudar, as estradas não cortam nenhuma linha de água e o declive do terreno desce de Sul para Norte. Nesta zona de projeto, a área não entra em conflito com a área reservada à REN nem à RAN.

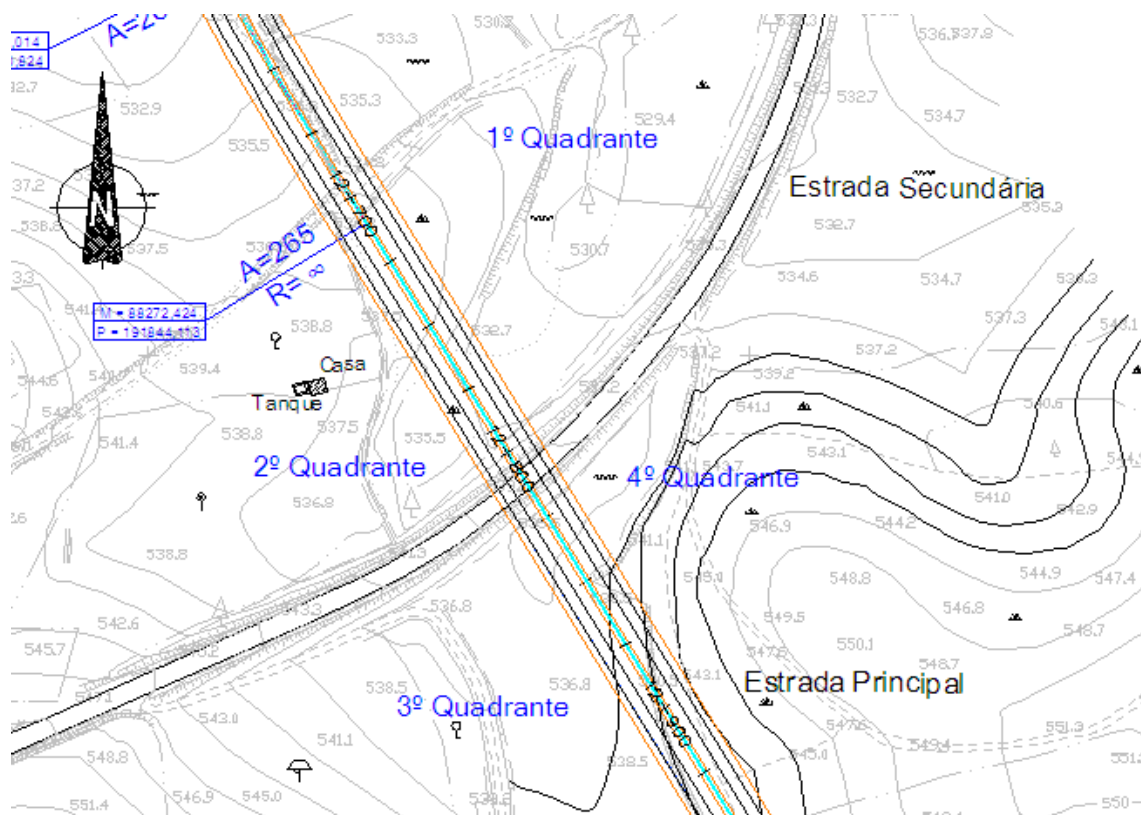


Figura 6.1 – Divisão da zona de projeto em quadrantes.

Para uma melhor interpretação dos *layouts*, pode-se dividir a zona de construção em quatro quadrantes divididos pelos eixos das estradas a ligar, como apresentado na figura 6.1. A primeira hipótese foi o Nó em Diamante, no qual as vantagens encontradas são: as rampas de saída situam-se antes da obra de arte e as rampas de entrada depois, não havendo entrecruzamentos e o vão da obra de arte a projetar vem menor. As desvantagens são: gerador de muitos pontos de conflito, o tráfego de saída da estrada principal é obrigado a parar, favorece as manobras erradas por parte dos condutores e necessita dos quatro quadrantes para construção, embora com menores áreas a expropriar. A diminuição da capacidade característica desta tipologia, aqui, não é evidente pois o tráfego é reduzido.

A segunda solução foi o Nó em Meio-Trevo Incompleto, podendo ter duas variantes: A e B. A alternativa A apresenta o nó de ligação constituído por dois *loops* e dois ramos diretos divididos pelos quadrantes 2 e 4, enquanto na alternativa B, os ramos de ligação desenvolvem-se nos quadrantes 1 e 3. As vantagens inerentes a este tipo são: não tem entrecruzamentos, a sinalização da estrada secundária é mais simples que no Nó em Diamante, existem dois quadrantes que não são precisos expropriar, possibilidade de melhoria do nó e no caso A, as rampas de saída são antes da obra de arte. Os inconvenientes encontrados são: os pontos de conflito na estrada secundária continuam a ser bastantes, exige uma maior largura para a obra de arte e no caso B, o tráfego de saída da estrada principal entra num *loop*.

A terceira solução foi o Nó em Meio-Trevo Completo, que pode ter igualmente duas alternativas: A e B. Na opção A, tal como na solução anterior, os quadrantes ocupados pelos *loops* e pelos ramos diretos são o 2 e 4 existindo nos restantes mais dois ramos diretos, enquanto na solução B, os quadrantes afetos aos *loops* e aos ramos diretos são o 1 e o 3, com os quadrantes 2 e 4 a terem um ramo direto cada um. As vantagens desta tipologia são: não tem entrecruzamentos, grande capacidade, não induz os condutores a erros e no tipo A, as rampas de saída são antes da obra de arte. As desvantagens encontradas são: necessidade de grande espaço para construção, ocupando os quatro quadrantes e exigência de vias auxiliares sobre a obra de arte, de aceleração no caso A e abrandamento no caso B, aumentando o seu vão.

A quarta solução foi um Nó em Diamante com duas rotundas na estrada secundária. A grande melhoria em relação ao Nó em Diamante normal é a redução significativa dos conflitos na estrada secundária, não induzindo os condutores em erro e não obrigando o tráfego de saída da estrada principal a parar.

A solução de meio-trevo incompleto de quadrantes adjacentes e a de trevo completo não foram objeto de comparação, pois do ponto de vista do autor seriam duas soluções que não se enquadravam no nó a projetar.

Das quatro soluções, o autor opta pelo Nó em Meio-Trevo Incompleto em que os quadrantes ocupados são o 1 e o 3. Em comparação com o Meio-Trevo Completo, quanto ao tráfego, não é necessária uma solução de grande capacidade visto o tráfego na secundária ser diminuto. Também relevante é o custo da segunda opção pois, comparativamente à terceira, é menor ocupando apenas dois quadrantes. Em relação à primeira solução, também não seria necessária a expropriação dos quatro quadrantes, apenas de metade. A quarta solução seria vantajosa em relação à primeira em todos os sentidos, porém o autor não a escolhe porque a utilização de rotundas, como abordado no capítulo 5, é oportuna quando o tráfego nos ramos convergentes à rotunda são semelhantes e mais significativos (por exemplo, cerca de 6000 veículos/dia no eixo secundário e cerca de 20000 veículos/dia no eixo principal). Além de que dois dos ramos em cada rotunda são um de entrada para a estrada principal e outro de saída da mesma, reduzindo ainda mais o tráfego convergente à intersecção giratória, não compensando a sua construção.

A escolha da alternativa B surge devido à existência de uma casa e um tanque no quadrante 2. A partir destes dados, o autor prevê a existência de poços de água, o que seria um encargo extra proceder à sua inatividade, ao aterrar com pedrapleno e materiais insensíveis à água, de maneira a não modificar o nível freático da zona. O quadrante 4 apresenta um forte declive caracterizador de uma encosta na proximidade à intersecção das duas estradas, o que originaria um maior volume de movimentos de terra e um menor espaço para implementar o nó naquela zona. Por sua vez, os quadrantes 1 e 3 não apresentam condicionamentos urbanísticos e o declive do terreno é pouco acentuado. Uma dificuldade que esta solução apresenta será a reduzida visibilidade dos condutores para a intersecção no quadrante 1 devido a uma parte da mesma ter que se localizar interiormente à curva. Porém, observando que o terreno nesta zona é pouco acidentado, este entrave pode ser resolvido através do afastamento do talude, se a rasante se encontrar em escavação, ou da imposição de velocidades mais reduzidas naquela zona.

6.3. DADOS INICIAIS DO PROJETO

Os dados referentes ao traçado do perfil transversal da Estrada Principal (2×2 vias) são:

- Largura das vias (m) – 3,75
- Largura da berma exterior (m) – 2,5
- Largura da berma interior (m) – 1,0
- Largura do separador central (m) – 0,6

O autor prevê uma Velocidade Base de 100 km/h para a estrada principal e, não havendo dados relativos à inclinação transversal da faixa de rodagem nem à sobrelevação, o autor define que a inclinação transversal da faixa de rodagem é de -2,5% em reta, para ambos os lados do eixo, e a sobrelevação na curva circular é de 7,0%. A curva circular tem um raio igual a 700 m e o parâmetro da curva de transição (clotóide) toma o valor de 265 m.

Escolhido o *layout* do Nó, passa-se à análise das estradas que se cruzam, onde deverá ser garantido um *gabari* mínimo de 5,0 metros. Como o perfil longitudinal da estrada principal já está definido, o único perfil a poder condicionar é o da estrada secundária, com a possibilidade de passar por cima ou por baixo da estrada principal. Analisando a diretriz da estrada secundária constata-se que a mesma não possui curvas de transição a ligar a curva circular e os alinhamentos retos. Examinando o perfil longitudinal do terreno relativo à estrada principal, observa-se que a estrada secundária cruza com esta a uma cota superior, aproximadamente no PK 12+812,500 m (figura 6.2). A primeira intuição é criar uma passagem superior para não modificar significativamente a estrada secundária. Porém, em termos de custo da obra de arte, esta solução poderia ser mais onerosa pois o vão a vencer teria certamente maior extensão, do que se fosse uma passagem inferior, ou seja, com a passagem superior o vão teria pelo menos a largura do perfil transversal da estrada principal (vias múltiplas), enquanto na passagem inferior o vão a vencer seria pelo menos a faixa de rodagem da estrada secundária (estrada de 2 vias). Outro fator a analisar seria os movimentos de terras necessários para cada situação, sendo preciso a definição do perfil do terreno e da rasante da estrada secundária e a comparação do seu custo com a construção da obra de arte. Em termos estéticos e visuais, uma passagem inferior será mais aconselhada do que uma passagem superior. Assim, o autor continua o estudo do terreno com o objetivo de definir a diretriz e decidido que a estrada secundária passará por baixo da estrada principal.

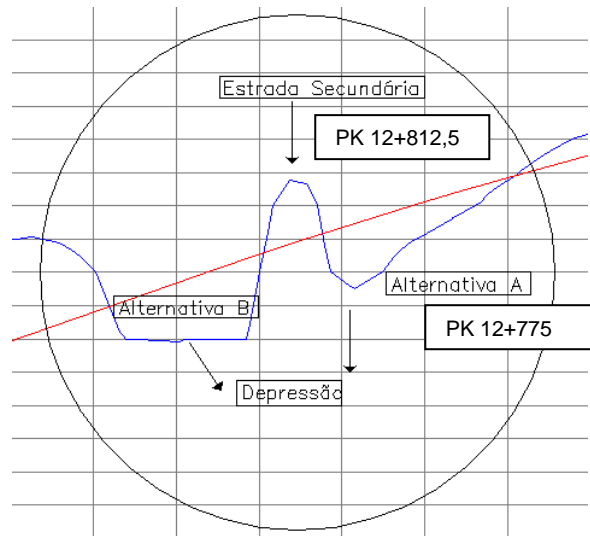


Figura 6.2 – Representação da estrada secundária no perfil longitudinal da estrada principal.

Na zona adjacente à intersecção das duas estradas visualizam-se duas depressões, uma de cada lado, por onde pode passar a nova diretriz da estrada secundária, diminuindo o volume de terras a movimentar (figura 6.2). Deste modo, o autor apresenta duas soluções para o novo troço da estrada secundária. A primeira intersecta inferiormente a estrada principal, aproximadamente no PK 12+775,000 (alternativa A), e é constituída por duas curvas compostas e um alinhamento reto entre elas (figura 6.3). A segunda hipótese passa por dotar a estrada original de curvas de transição e diminuir o raio da curva circular, mantendo praticamente a diretriz (alternativa B – figura 6.4). No estudo do traçado em perfil para ambas as alternativas (subcapítulo 6.4.2.), não serão explicados nem apresentados os valores que o autor adotou para definir os perfis apresentados no Anexo A.2.1 e A.2.2, já que não se tratam de perfis definitivos. Isto é, a rasante definida para os dois perfis será sempre muito semelhante, pois o perfil do terreno naquela zona também o é e as diretrizes propostas são muito próximas. A justificação passa também pelo facto do objetivo nesta fase do projeto ser o de escolher, por comparação, a melhor diretriz e não a definição final da rasante, visto que ainda não estão geometrizadas as intersecções que impõem condicionantes ao nível das inclinações do perfil.

Quanto à nova diretriz da estrada secundária (2 vias), esta será dimensionada para uma Velocidade Base de 50 km/h, em que a faixa de rodagem, em reta, terá 7,0 m, a largura das bermas exteriores será de 2,5 m, a inclinação transversal, em reta, será de -2,5 % para ambos os lados do eixo e a sobrelevação em curva de 4,0%, pois a localização das intersecções será aproximadamente neste local, sendo o valor máximo de 7,0% elevado para uma intersecção.

6.4. ESTRADA SECUNDÁRIA

6.4.1. TRAÇADO EM PLANTA

6.4.1.1. Alternativa A

Sendo inexistentes os dados sobre os pontos quilométricos (PK) da estrada secundária (ES), apenas as cotas ao eixo e nem sempre de 25 em 25 metros, o autor define o alinhamento inicial a partir da localização das cotas ao eixo, unindo dois dos pontos pertencentes a esse alinhamento reto. Pela mesma via, o alinhamento final também é definido ao eixo. Sendo esta a alternativa que passará aproximadamente no PK 12+775 da estrada principal (EP), o eixo do alinhamento intermédio é definido passando exatamente nesse quilómetro (km) com uma dada orientação, de maneira a intersectar os outros dois alinhamentos e procurando que as zonas das intersecções de nível na ES sejam efetuadas em alinhamento reto ou muito próximo deste. Com os alinhamentos definidos, é possível através das coordenadas fornecidas pelo AutoCad, conhecer as dos vértices desses alinhamentos. A partir destas coordenadas (dos pontos de cota conhecidos), calcula-se a orientação azimutal dos alinhamentos. Como referido no subcapítulo 3.3.6, conhecendo pelo menos um ponto de coordenada pertencente ao alinhamento, a sua orientação e a distância a que está o próximo ponto, é possível calcular todos os pontos notáveis para a definição das curvas compostas. No quadro 6.1 apresentam-se as coordenadas dos pontos pertencentes aos alinhamentos e a respetiva orientação azimutal. Conhecidos os azimutes dos alinhamentos retos, a partir da geometria, tem-se o ângulo de desvio, Ω , e o seu complementar β . A figura 6.3 procura representar estes pontos em planta.

Quadro 6.1. – Coordenadas dos pontos notáveis dos alinhamentos retos e sua orientação azimutal – Alternativa A.

Elemento	Pontos Notáveis	Coordenadas		Azimute (grados)	
		M (m)	P (m)		
Alinhamento reto 1	I'	88430,974	191999,327	(IV1)	197,25478581
	V ₁	88434,349	191921,117		
Alinhamento reto 2	V ₂	88221,093	191700,474	(V1V2)	248,91615030
	F	87955,590	191582,846		
Alinhamento reto 3				(V2F)	273,44969490

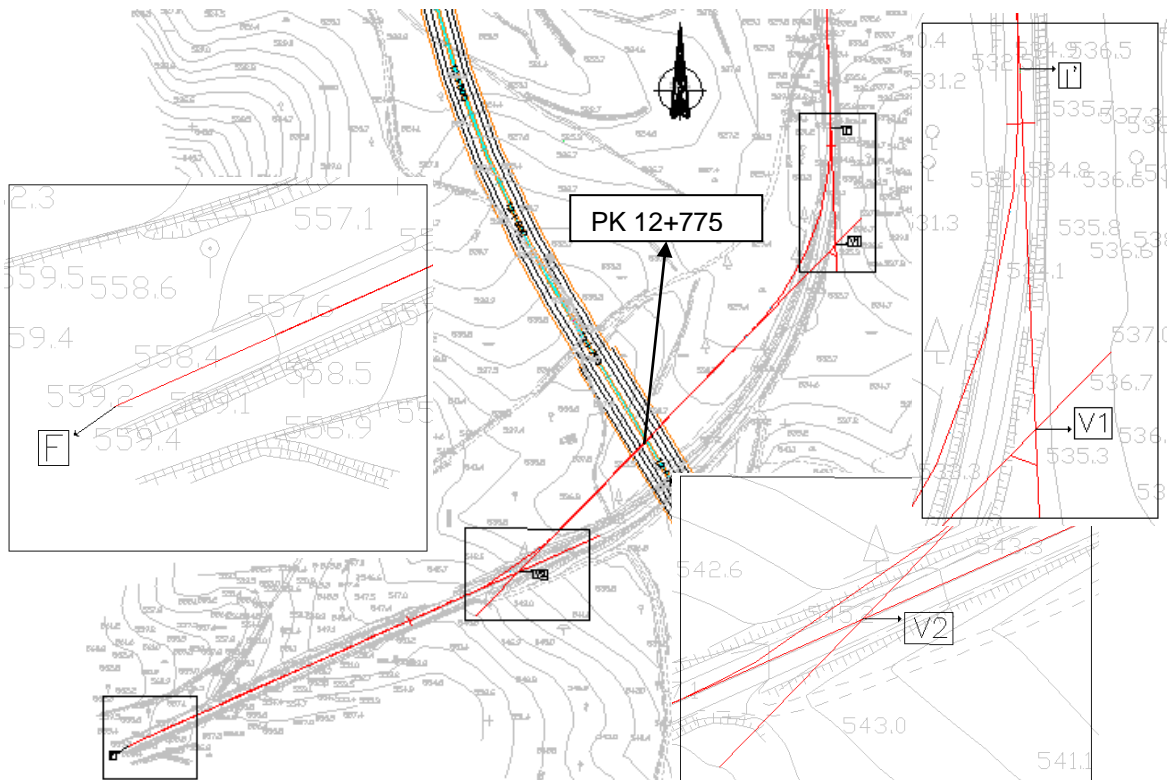


Figura 6.3. – Diretriz e Pontos notáveis dos alinhamentos retos da Alternativa A.

O próximo passo é definir o raio horizontal das duas curvas circulares. Com o objetivo de garantir que o segundo alinhamento comece o mais cedo possível sem afetar a segurança e a comodidade, o raio mínimo a adotar, pelo quadro 3.4, é 180 m. O raio da próxima curva, tendo em conta a figura 3.1, toma o valor de 200 m, sendo a sua relação com o raio anterior muito boa.

Neste momento, o autor está na posse dos valores necessários para conhecer o valor dos outros parâmetros da curva composta, neste caso, da curva de transição. Assim, a partir da condição de implantação e dos critérios de dimensionamento obtém-se o intervalo de valores no qual o parâmetro A da clotóide será o ideal. Definido o parâmetro A e a partir das equações 3.16 à 3.23, calcula-se os restantes parâmetros das curvas compostas, apresentados no Anexo A.1.1. No quadro 6.2 ainda são apresentados alguns dados necessários ao cálculo do parâmetro A .

Quadro 6.2. – Dados iniciais para o cálculo do parâmetro A .

Velocidade Base (km/h)	50,0
a - largura da faixa de rodagem (m)	7,000
Berma exterior (m)	2,500
S_e (%)	4,0000000
$i_{\text{transversal}}$ (%)	2,5000000
S_{an} (m/s ³)	0,500
$\Delta i_{\text{máximo}}$ (%)	1,0000000
$\Delta i_{\text{mínimo}}$ (%)	0,6000000

Analisando o Anexo A.1.1, o parâmetro A está dentro do intervalo [93,617; 114,657] não respeitando o limite superior do segundo critério de dimensionamento. A consequência desta ação resulta numa quebra do Δi entre L_d e L por não se cumprir este parâmetro. Deste modo, o valor de Δi será igual ao $\Delta i_{\text{mínimo}}$, sendo este último o usado no cálculo do L_d . Em clotóide, o Δi virá menor que o $\Delta i_{\text{mínimo}}$. Com base na figura 3.5, os pontos notáveis das curvas compostas 1 e 2 são os apresentados no quadro 6.3.

Quadro 6.3. - Coordenadas dos pontos notáveis da curva composta 1 e 2 da Alternativa A.

	Pontos Notáveis	Coordenadas	
		M (m)	P (m)
Curva composta 1	T ₁	88431,002	191998,677
	T' ₁	88380,397	191865,297
	O ₁	88429,806	192026,407
	O' ₁	88361,108	191845,339
	C ₁	88250,456	191990,887
	P ₁	88429,344	191970,912
	P' ₁	88397,574	191887,174
Curva composta 2	T ₂	88248,240	191728,562
	T' ₂	88185,378	191684,651
	O ₂	88259,357	191740,064
	O' ₂	88170,753	191678,171
	C ₂	88104,279	191867,703
	P ₂	88236,519	191717,662
	P' ₂	88199,646	191691,905

As coordenadas dos pontos notáveis são o ponto de partida para proceder à piquetagem dos elementos da diretriz, de 25 em 25 metros. Não havendo nenhum indício para que sentido os quilómetros da ES crescem, o autor adota a mesma ordem que a estrada principal. Assim, o PK 0+000 terá início na parte mais a norte da ES, crescendo no sentido oeste. O início do troço da alternativa A, definido pelo autor, situa-se na cota 532,000 m. Sabendo as coordenadas deste ponto e do primeiro ponto osculador da curva composta 1 (O₁), obtém-se a extensão do primeiro alinhamento reto. Com as coordenadas do último ponto osculador da curva composta 1 (O'₁) e o primeiro ponto osculador da curva composta 2 (O₂) obtém-se a extensão do segundo alinhamento reto. A extensão do terceiro e último alinhamento ainda não é definitiva, mas por agora, vai até à cota 558,000 m, que corresponde ao km 0+732,455 m.

A definição da diretriz da estrada, de 25 em 25 metros, apresenta-se no Anexo A.1.2. A distância final apresentada serve apenas de auxílio para efetuar o perfil longitudinal do terreno.

6.4.1.2 Alternativa B

A segunda solução apresenta apenas uma curva composta, procurando aproveitar ao máximo a estrutura de suporte devido às terraplenagens e reduzir, assim, o seu custo. O método de procedimento é semelhante ao anterior, embora só exista o alinhamento inicial e o alinhamento final. Estes alinhamentos são os mesmos da alternativa A, logo as suas orientações já estão definidas no quadro 6.1. O dado inicial que muda é a posição do vértice da intersecção dos dois alinhamentos, como se pode ver na figura 6.4.

Quadro 6.4. – Coordenadas dos pontos notáveis dos alinhamentos retos e sua orientação azimutal – Alternativa B.

Elemento	Pontos Notáveis	Coordenadas		Azimutes (grados)
		M (m)	P (m)	
Alinhamento 1	I'	88430,974	191999,327	(IV1) 197,25478581
	V ₁	88439,690	191797,321	
Alinhamento 2	F	87955,590	191582,846	(V1F) 273,44969490

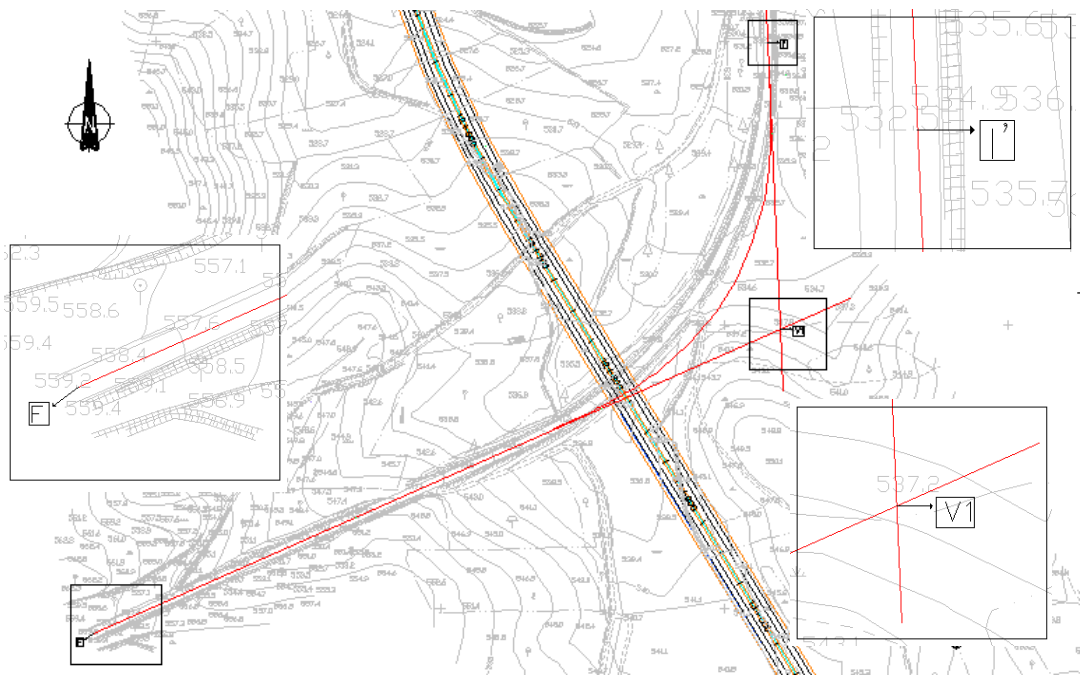


Figura 6.4. – Diretriz e Pontos notáveis dos alinhamentos retos da Alternativa B.

O próximo passo será calcular os parâmetros geométricos da curva composta, nomeadamente o parâmetro A, através da condição de implantação e dos critérios de dimensionamento. Os valores presentes no quadro 6.2 são também os mesmos usados nesta alternativa. Definido o parâmetro A, através das equações 3.16 à 3.23, obtém-se, de igual modo, os restantes parâmetros que caracterizam a curva composta, apresentados no Anexo A.1.3. Mais uma vez, com base na figura 3.5, determinam-se as coordenadas dos pontos notáveis da curva composta, apresentadas no quadro 6.5. A partir destes pon-

tos procede-se à piquetagem da diretriz, da mesma forma que a apresentada para a alternativa A. Neste caso, os pontos inicial e final são os mesmos. Isto deve-se ao facto de na representação do perfil longitudinal, tanto do terreno como da ES, terem a mesma cota inicial e final, de forma a poder fazer uma melhor comparação. A definição da diretriz, de 25 em 25 m, da Alternativa B apresenta-se no Anexo A.1.4.

Quadro 6.5. – Coordenadas dos pontos notáveis da curva composta da Alternativa B.

	Pontos Notáveis	Coordenadas	
		M (m)	P (m)
Curva composta	T ₁	88433,753	191934,922
	T' ₁	88313,766	191741,532
	O ₁	88431,645	191983,779
	O' ₁	88269,055	191721,723
	C ₁	88231,944	191926,215
	P ₁	88427,882	191886,112
	P' ₁	88354,891	191768,468

À semelhança da alternativa A, analisando o Anexo A.1.3, verifica-se que $A > A_2^{superior}$, logo também haverá quebra do Δ_i , sendo este menor que o $\Delta_{i_{mínimo}}$ em clóide e igual a este no disfarce da sobrelevação em alinhamento reto (L_d).

6.4.2. TRAÇADO EM PERFIL

6.4.2.1. Alternativa A

Antes de passar para a definição do perfil longitudinal do troço em questão, é preciso fazer o levantamento do terreno. O terreno é caracterizado considerando todos os pontos notáveis (curvas de nível, taludes, muros de suporte, etc.), no sentido de se obter um perfil minimamente aproximado da realidade. Após este passo, teremos de analisar os condicionantes à definição da rasante, isto é, no ponto inicial e final da rasante, esta terá de ser tangente ao perfil da estrada original e neste caso, devido à passagem inferior, garantir um *gabarit* mínimo de 5,0 m. Observando o perfil do terreno (Anexo A.2.1), a rasante vai ficar em escavação na zona de cruzamento. O autor deve tentar não definir nenhum ponto baixo nessa zona. Para isso, foi necessário retirar as cotas dos bordos da plataforma da EP. Na zona de intersecção, a estrada principal desenvolve-se em alinhamento reto o que pressupõe um perfil transversal a duas águas.

Na zona de intersecção, sabendo que o eixo da estrada secundária passa no PK 12+775,000 da estrada principal e analisando a rasante da mesma, é possível obter a sua cota ao eixo. Devido à pequena obliquidade que a estrada secundária apresenta ao cruzar a principal, a extensão a introduzir no perfil longitudinal da estrada secundária não será apenas a largura total da faixa de rodagem da estrada principal mas, terá de vir corrigida tendo em conta essa obliquidade. A figura 6.5 ilustra esta geometria. A largura corrigida é calculada através da equação 6.1. No quadro 6.6 estão os valores necessários ao cálculo dessa largura.

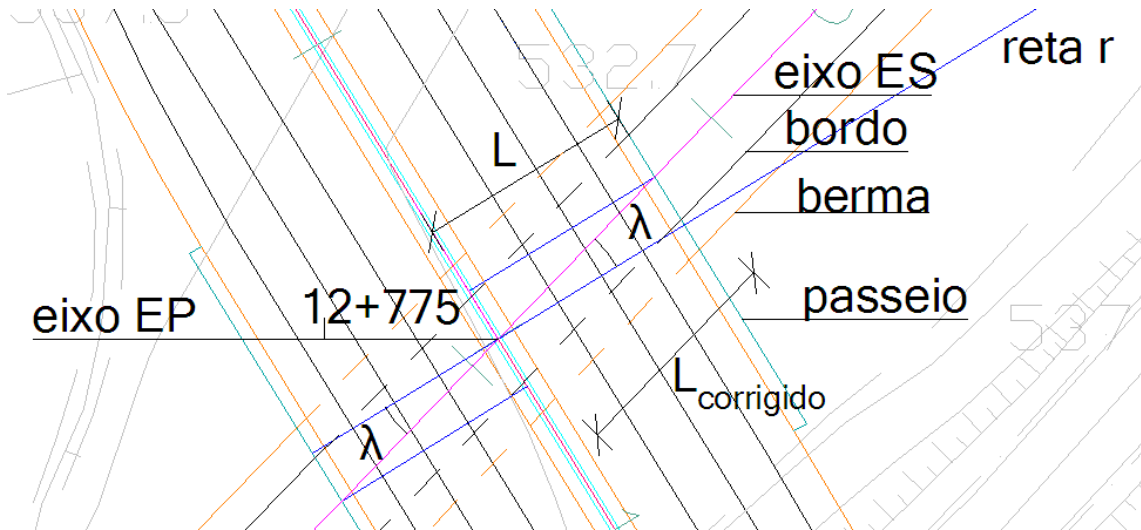


Figura 6.5. – Obliquidade, λ, que a estrada secundária faz com a estrada principal

$$L_{\text{corrigido}} = \frac{L}{\cos(\lambda)} \quad (6.1.)$$

Quadro 6.6. – Valores necessários no cálculo da largura corrigida.

L (m)	λ (gr.)	L _{corrigido} (m)
15,800	16,03878585	16,315

Determinando o ponto quilométrico da estrada secundária que passa exatamente por baixo do PK 12+775, somando e subtraindo a este a largura calculada, obtém-se os limites da passagem superior. O passo seguinte será conhecer as cotas a que estão esses limites. A partir da reta *r*, tiram-se duas paralelas até ao ponto de intersecção entre o eixo da estrada secundária e o bordo da plataforma. Estas novas retas intersectam o eixo da estrada principal, uma antes do PK 12+775 e outra depois. Conhecendo o ponto quilométrico correspondente ao ponto de intersecção dessa reta com o eixo da estrada principal, através do perfil longitudinal da estrada principal (cálculo das cotas no eixo da EP, neste caso em traínel) e com a inclinação transversal, obtém-se as cotas nos respetivos limites. Os valores destas cotas estão representados no quadro 6.7. Nesta fase, e não sendo objeto desta dissertação dimensionar a passagem superior, é considerado que a laje da mesma tem 1,0 m. Dando 5,0 m para baixo no perfil longitudinal da estrada secundária, sabe-se que a rasante terá de passar por baixo. Na equação 6.1., o valor de *L* corresponde a meia plataforma, considerando adicionalmente no perfil transversal uma via auxiliar de 3,500 m e a largura do passeio de 1,000 m, servindo este para a colocação das guardas de segurança e serviços de manutenção na passagem superior.

Após várias tentativas para tentar encaixar o melhor possível a rasante e, ao mesmo tempo, cumprir todas as condicionantes, apresenta-se no Anexo A.2.1 a rasante obtida.

Quadro 6.7. – Cotas no limite da plataforma da estrada principal na zona da obra de arte – Alternativa A.

PK - EP (m)	Cota no eixo - EP (m)	Inclinação transversal (%)	Cota no extremo - EP (m)	PK - ES (m)
12+770,933	535,523	-2,5000000	535,128	0+330,979
12+775,000	535,665			0+347,294
12+779,067	535,807	-2,5000000	535,412	0+363,609

6.4.2.2 Alternativa B

Para esta solução, o método para a definição do perfil do terreno será semelhante uma vez que os condicionamentos são os mesmos, sendo definido com o mesmo intuito. Neste caso, a intersecção das duas estradas não será entre duas retas, mas a estrada secundária passa a cruzar inferiormente a estrada principal em clotóide.

A definição da extensão em que a estrada secundária passa por baixo é semelhante à da solução anterior, sendo o valor de meia plataforma da estrada principal igual. Porém, a estrada principal está neste quilómetro em concordância convexa. Os dados que definem a concordância são apresentados no quadro 6.8. Nesta alternativa, não será necessário corrigir o L pois o cruzamento é feito em clotóide, sendo as duas distâncias a partir da intersecção dos dois eixos diferentes. Assim, através da piquetagem em planta e da extensão da clotóide, determina-se a que PKs da estrada secundária intersectam os bordos da plataforma e o eixo. O método de obtenção das cotas nos extremos é o mesmo pois a estrada principal continua a desenvolver-se em alinhamento reto. No quadro 6.9 apresentam-se os valores desses limites.

Quadro 6.8. – Parâmetros da concordância convexa existente no perfil longitudinal da estrada principal.

Parâmetros da concordância	
i do trainel anterior à concordância (%)	3,5000000
PK do T_{entrada}	12+787,854
Cota de T_{entrada} (m)	536,115
R_v (m)	12500,000
D (m)	750,000
PK do Vértice da concordância (m)	13+162,854
Cota do Vértice da concordância (m)	549,240
B - desnível entre o Vértice e a Rasante (m)	-6,000

Quadro 6.9. - Cotas no limite da plataforma da estrada principal na zona da obra de arte - Alternativa B.

Ponto quilométrico - EP	Cota eixo - EP (m)	Cota Berma - EP (m)	Ponto quilométrico - ES
12+818,777	537,159	536,764	363,963
12+818,954	537,165		377,266
12+818,272	537,143	536,748	395,582

Após várias tentativas para conciliar a rasante, o Anexo A.2.2 ilustra a solução para a alternativa B.

6.4.3. ANÁLISE DAS DUAS SOLUÇÕES

Comparando agora as duas alternativas, um aspeto notório da solução do *layout* é que ambas apresentam a visibilidade condicionada na intersecção a implementar no primeiro quadrante, pois esta fica no intradorso da curva. Em relação à intersecção do terceiro quadrante não há qualquer tipo de condicionante quanto à visibilidade, pois encontra-se no extradorso da curva na alternativa A e provavelmente grande parte em alinhamento reto na alternativa B. Assim sendo, desenhando um esboço de um *loop* com raio igual a 40 m no primeiro quadrante, constata-se que a intersecção na solução A ficará uma parte em clóide de saída e a outra parte em curva circular. Na solução B, a intersecção localizar-se-á praticamente toda em curva circular. Logo, olhando apenas para este entrave, na visão do autor, a solução menos gravosa será a alternativa A, pois na alternativa B a visibilidade estará muito mais condicionada. Além do mais, a diferença de raios da ES não é muito díspar. Quanto ao perfil longitudinal da estrada tentou-se criar soluções semelhantes para poder haver uma melhor análise comparativa. Deste modo, verifica-se que ambas as soluções terão volumes de terras a movimentar semelhantes. Claro que um estudo geológico-geotécnico na zona seria essencial para conhecer o estado dos solos em profundidade, embora estes deverão ter características semelhantes, pois as diretrizes são próximas. A vantagem que a solução B apresenta é a de um maior aproveitamento do terraplano da estrada original pois a sua diretriz não se afasta muito da mesma.

Assim, o autor escolhe a alternativa A como a nova diretriz da estrada secundária. A razão vem do facto da visibilidade ser, em princípio, menos comprometedor, ficando desde esta fase proposto um estudo de forma a afastar o talude de escavação, com o intuito de melhoria desta visibilidade. Outra razão é o cruzamento das estradas que efetua-se em alinhamento reto, necessitando, assim, de menos espaço para a obra de arte e tornando o processo construtivo mais simples. Outra vantagem é a extensão do troço da alternativa A ser menor, além de que, na alternativa B, a obra de arte situa-se num PK superior do que na alternativa A, o que não é bom na definição do trainel a jusante pois fica com menos extensão para ligar à estrada original. No momento da construção do novo troço, a estrada original servirá como alternativa ao trânsito.

6.5. TRAÇADO EM PLANTA – RAMOS DE LIGAÇÃO

6.5.1. GENERALIDADES

O Nó em Meio-Trevo Incompleto escolhido em 6.2 caracteriza-se por ter duas intersecções na estrada secundária que fazem a ligação à estrada principal. A intersecção 1 é a situada no primeiro quadrante e a intersecção 2 no terceiro quadrante. Os ramos de ligação do terceiro quadrante têm a seguinte nomenclatura: Ramo A – *loop* de saída unidirecional da EP; Ramo B – ramo de entrada unidirecional

na EP após término do ramo bidirecional; Ramo A+B – ramo bidirecional de entrada e saída na e da ES; Ramo A+B1 – bordo exterior direito do Ramo A+B (ramo sucessor do Ramo A); e Ramo A+B2 – bordo exterior esquerdo do Ramo A+B (ramo antecessor do Ramo B). A intersecção 1, sendo um espelho em termos visuais da intersecção 2, é constituída pelos: Ramo C – *loop* de saída unidirecional da EP; Ramo D – ramo de entrada unidirecional na EP com início no final do ramo bidirecional; Ramo C+D – ramo bidirecional que se desenvolve até ES; Ramo C+D1 – bordo exterior direito do Ramo C+D (ramo sucessor de C); e Ramo C+D2 – bordo exterior esquerdo do Ramo C+D (ramo antecessor do Ramo D).

A progressão na definição geométrica dos ramos nas duas intersecções é semelhante, ou seja, os primeiros ramos a serem definidos serão os ramos indiretos (*loop*), seguidos dos ramos de entrada na principal, pois dependem da definição do primeiro, em que o PK final do Ramo A ou C é o km de início do ramo de entrada B ou D. A partir destes dois e sabendo que o km enunciado é o início ou fim do ramo bidirecional, dependendo do sentido de circulação, este ramo é definido ao eixo, que pode ser simétrico ou não, e vai até à ES. Antes de entrar na definição, convém referir que as equações que permitem o cálculo das coordenadas dos diversos centros, serão definidas em função de x e y . Estes valores correspondem aos valores de coordenada M e P, respetivamente, no referencial geodésico em que o ponto de origem se situa na Melriça.

A piquetagem do Nó de Ligação será realizada de 25 em 25 metros, como em Plena Via, com os quilómetros a crescer no mesmo sentido da circulação. No caso dos ramos bidirecionais, como existem os dois sentidos, o autor pode escolher qualquer um. O sentido adotado será o sentido de saída da estrada principal, crescendo até à estrada secundária.

Para a definição geométrica correta dos ramos do Nó de Ligação é preciso recorrer à matéria lecionada na unidade curricular de CEAE no capítulo *Construção geométrica e definição analítica de Ramos de Ligação*. Para uma melhor perceção dos cálculos efetuados serão, sempre que possível, expostos os raciocínios realizados com o acompanhamento de esquemas elucidativos.

6.5.2. RAMO A E RAMO A+B1

Este ramo, como referido, é um ramo indireto e unidirecional. O eixo do ramo, de acordo com a figura 4.9, é definido pelo traço branco do lado direito da circulação, a dividir a faixa de rodagem e a berma exterior. Como a intersecção das duas estradas é feita em alinhamento reto, este é o caso mais simples a definir. O ramo indireto é constituído por uma curva de transição seguida da curva circular e por fim, a ligar à ES, outra curva de transição. De acordo com a figura 6.6, o centro está posicionado a uma distância $R+\Delta R$ dos bordos da faixa de rodagem das duas vias a ligar, em que as curvas de transição têm o mesmo parâmetro e partilham o mesmo raio. Como descrito no capítulo 4, a partir do espaço disponível para implementar o *loop*, o autor define o raio da curva circular igual a 45 m. Segundo o quadro 4.2, o parâmetro A mínimo correspondente é igual a 36 m. Estes são os dados de partida necessários para calcular os restantes parâmetros da curva de transição, apresentados no quadro 6.10, bem como para a determinação do centro C_3 .

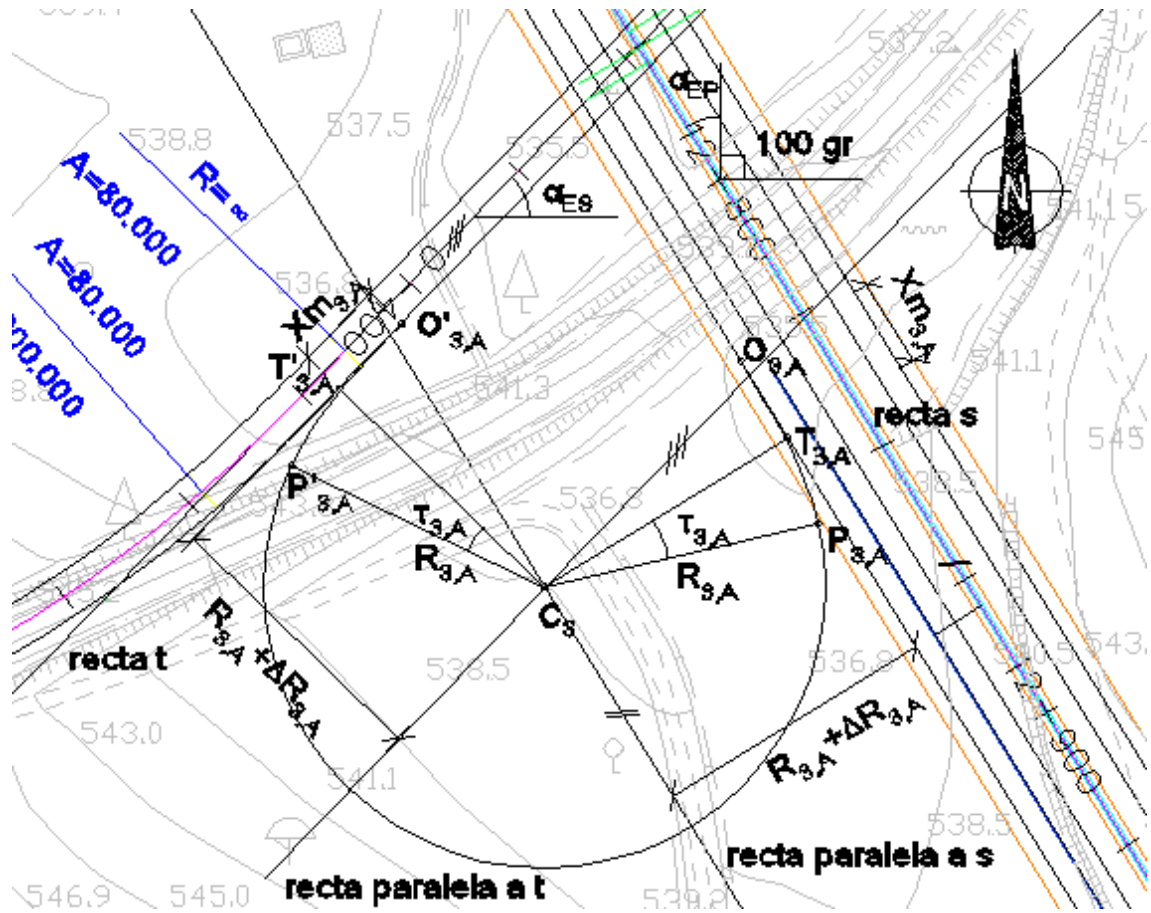


Figura 6.6. – Definição geométrica do Ramo A e A+B1.

Quadro 6.10. – Parâmetros geométricos do Ramo A e A+B1.

Parâmetros	Clotóide de entrada e saída 3,A
R (m)	45,000
A (m)	36,000
L (m)	28,800
τ (rad.)	0,32000000
τ (gr.)	20,37183272
X (m)	28,506
Y (m)	3,050
X_m (m)	14,351
ΔR (m)	0,765

Recorrendo apenas à geometria apresentada na figura 6.6, são apresentados a seguir os passos necessários no cálculo das coordenadas do centro C_3 .

1. Definição da equação das retas:

Os eixos das duas estradas podem ser caracterizados por uma equação pois cruzam-se em alinhamento reto. A partir de dois pontos auxiliares (de coordenada conhecida) pertencentes a essa reta é definido o declive m da mesma (A e $B \rightarrow \alpha \rightarrow m$). Com o declive e as coordenadas de um ponto da reta, obtém-se o parâmetro b da equação da reta, ou seja, o valor do qual a reta intersecta o eixo vertical, imaginando um referencial cartesiano em que a origem é o ponto de coordenadas (0,000; 0,000). O mesmo processo é usado na definição da outra equação. Na equação 6.2 apresenta-se a equação da reta s ao eixo da EP e na equação 6.3 a equação que representa o eixo da ES (reta t).

$$y = -1,62926183 \times x + 335663,005 \quad (6.2.)$$

$$y = 1,03464329 \times x + 100423,112 \quad (6.3.)$$

Porém, as retas pretendidas para definir o centro C_3 estão à distância das anteriores de meia faixa de rodagem ($a/2$) mais $R_3 + \Delta R_3$, de acordo com a figura 6.6. No quadro 6.11 apresentam-se essas distâncias para cada uma das estradas e nas equações 6.4 e 6.5, as equações de reta paralelas às definidas ao eixo, respetivamente.

$$y = -1,62926183 \times x + 334663,005 - \frac{58,065}{\cos(\tan^{-1}(-1,62926183))} \quad (6.4.)$$

$$y = 1,03464329 \times x + 1000423,112 - \frac{49,265}{\cos(\tan^{-1}(1,03464329))} \quad (6.5.)$$

Quadro 6.11. - Distância do centro C_3 ao eixo da estrada principal e secundária.

	Estrada Principal	Estrada Secundária
α (rad.)	0,55048658	0,80242323
m	-1,62926183	1,03464329
b (m)	335663,005	100423,112
$a/2$ (m)	12,300	3,500
Distância paralela (m)	58,065	49,265

2. As coordenadas do centro C_3 correspondem, então, à intersecção das duas retas. Este ponto é calculado igualando as duas equações (6.4 e 6.5).

A partir daqui, o processo de cálculo dos pontos notáveis do *loop* realiza-se inversamente. Isto é, sendo conhecidas as coordenadas do centro da curva circular do *loop*, consegue-se calcular as coordenadas de todos os pontos notáveis que caracterizam o ramo indireto, através das respetivas orientações e

dos parâmetros que caracterizam as curvas de transição. Assim, a partir do centro C_3 e de acordo com a figura 3.5, o esquema de cálculo dos pontos notáveis, é apresentado no Anexo A.3.1.

Ficam assim definidas as coordenadas dos pontos notáveis do ramo indireto, apresentadas no quadro 6.12. Com base nesses pontos, a piquetagem das curvas de transição é feita através das equações paramétricas e das coordenadas do ponto inicial ou final da clotóide (ponto $O_{3,A}$ para a clotóide de entrada e $O'_{3,A}$ para a clotóide de saída do ramo). O eixo do ramo indirecto terá, assim, começo no bordo da faixa de rodagem da EP, no ponto osculador alinhamento reto/clotóide de entrada ($O_{3,A}$) e fim no bordo da ES, no ponto osculação alinhamento reto/clotóide de saída ($O'_{3,A}$).

Quadro 6.12. – Coordenadas dos pontos notáveis do Ramo A e A+B1.

Pontos Notáveis	M (m)	P (m)
C_3	88291,350	191702,276
$T_{3,A}$	88330,355	191726,216
$T'_{3,A}$	88258,443	191734,082
$O_{3,A}$	88322,848	191738,447
$O'_{3,A}$	88268,417	191744,401
$P_{3,A}$	88335,160	191712,557
$P'_{3,A}$	88250,798	191721,784

De salientar que o *loop* definido faz parte de dois ramos. A parte inicial do *loop* até ao início do ramo bidirecional pertence ao Ramo A. E do início do ramo bidirecional até à ES, mas pelo bordo direito da faixa de rodagem, pertence ao Ramo A+B1. A definição geométrica da diretriz do Ramo A, de 25 em 25 m, é apresentada no Anexo A.1.5.

6.5.3.RAMO B

O ramo de entrada para a estrada principal terá início no primeiro PK do ramo bidirecional mas de sentido oposto. A sua geometria é definida por uma curva em *S* (ligação de duas clotóides) seguida de uma curva circular e de uma curva de transição que ligará ao alinhamento reto da EP. Este caso, mais uma vez estudado na unidade curricular de CEAE, é o exemplo da intersecção da equação de uma circunferência que permite definir a curva em *S* e a equação da reta da EP. Este exemplo demonstra o modelo da curva em *S* em que os passos necessários para o cálculo do centro C_4 são descritos a seguir. Este modelo é ilustrado na figura 6.7 e define a distância ($D_{1,B}$) do centro C_3 ao centro C_4 com base em:

$$\Delta X_{1,B} = X_{m3,B} + X_{m4} \quad (6.6.)$$

$$\Delta Y_{1,B} = (R_{3,B} + \Delta R_{3,B}) + (R_4 + \Delta R_4) \quad (6.7.)$$

$$D_{1,B} = \sqrt{\Delta X_{1,B}^2 + \Delta Y_{1,B}^2} \quad (6.8.)$$

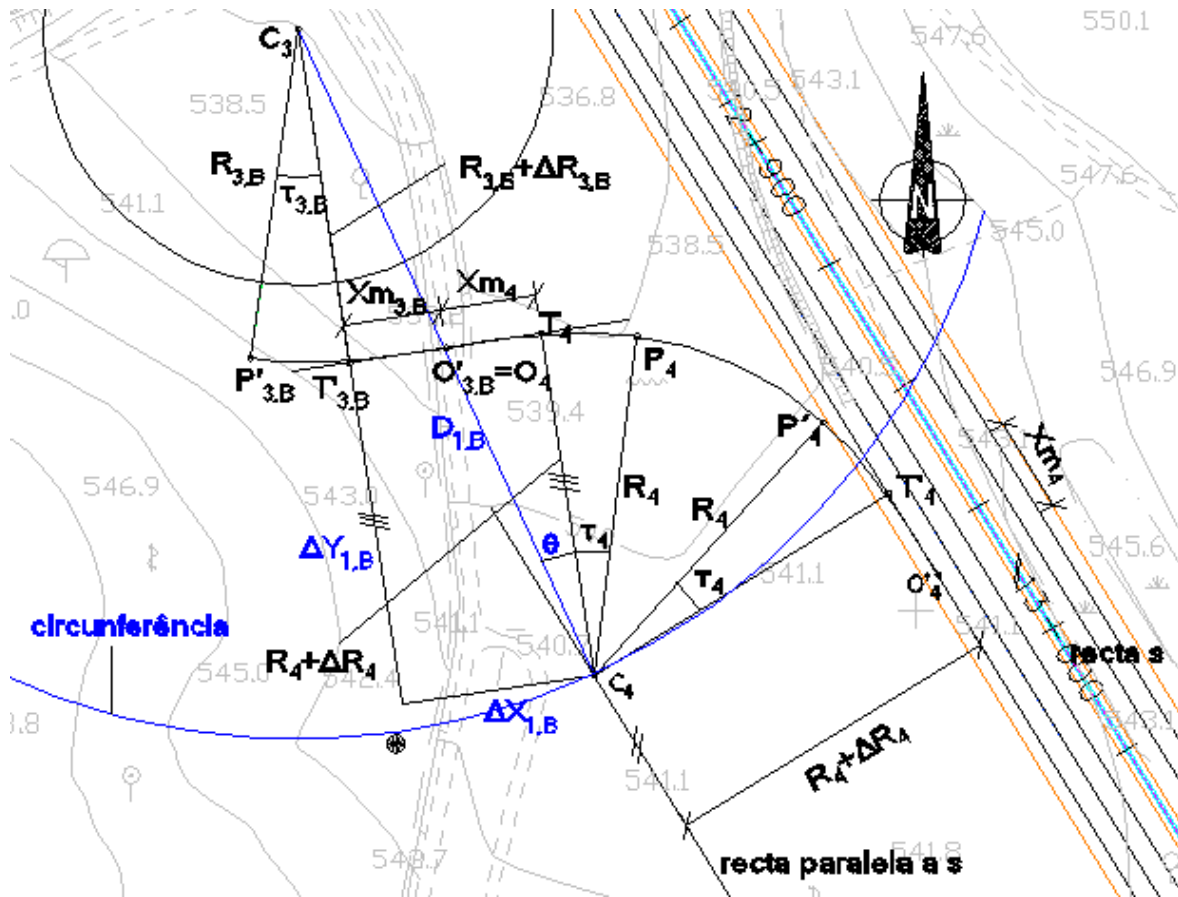


Figura 6.7. – Definição geométrica do Ramo B.

1. O ramo bidirecional A+B começa em curva circular. O raio dessa curva, imaginando o eixo no bordo exterior mais a Sul, é definido tendo em conta a largura da faixa de rodagem do Ramo A adicionado da sobrelargura, da largura do separador central (bermas interiores e guarda de segurança) e da largura da faixa de rodagem do Ramo B mais a sobrelargura. A sobrelargura do Ramo A, de acordo com o quadro 4.3, é de 1,250 m. O raio, sem contar com a sobrelargura do Ramo B, é maior que 55 m, logo, segundo o quadro 4.3, a sobrelargura definida pelo autor para o Ramo B é de 1,000 m. Dando 3,0 m de largura para o separador central, o raio no início do Ramo B é de 58,250 m. Se repararmos, a sobrelargura escolhida corresponde a um raio de 55 m, logo a sobrelargura para um raio de 58,250 m devia ser menor. Por simplificação e, com o objetivo de ter um valor acessível na construção, o autor adota a sobrelargura mais próxima e que está do lado da segurança, uma vez que os raios são muito próximos.
2. O raio da curva circular entre a curva em S e a curva de transição é de 60,0 m. Este raio, definido pelo autor, deverá ser maior ou igual que o anterior de maneira a não afetar a expectativa dos condutores e, ao mesmo tempo, facilitar o ganho de velocidade no seu percurso, para entrar com um diferencial de velocidade mínimo perante a velocidade de circulação da EP. Porém, não é necessário divergir muito do raio anterior pois a via de aceleração será do tipo paralelo, reduzindo assim a área ocupada pelos ramos de ligação. Segundo o quadro 4.2, o parâmetro mínimo (A) da clotóide correspondente toma o valor de 45,0 m. O parâmetro A definido pelo autor para o $R = 58,25$ m tomará o mesmo valor pois os raios são semelhantes, estando de acordo com o quadro 4.2 e com o mínimo, entre

36 e 45 m. Mais uma vez, a partir destes dados é possível calcular os restantes parâmetros das curvas de transição do Ramo B apresentados no quadro 6.13.

3. A equação da circunferência com centro em C_3 fica, então, definida calculando a distância $D_{1,B}$ ($D_{1,B} = 124,672$ m) e conhecendo as coordenadas do centro C_3 , apresentada na equação 6.9.

$$(x_{C4} - x_{C3})^2 + (y_{C4} - y_{C3})^2 = D_{1,B}^2 \quad (6.9.)$$

Quadro 6.13. – Parâmetros geométricos do Ramo B.

Parâmetros	Clotóide de saída 3,B	Clotóide de entrada e saída 4
R (m)	58,250	60,000
A (m)	45,000	45,000
L (m)	34,764	33,750
τ (rad.)	0,29840299	0,28125000
τ (gr.)	18,99692445	17,90493110
X (m)	34,456	33,484
Y (m)	3,436	3,146
X_m (m)	17,331	16,831
ΔR (m)	0,862	0,789

4. Neste momento, o centro C_4 pode estar em qualquer ponto da circunferência. Será necessária a equação da reta caracterizadora do alinhamento reto da EP, à distância de meia faixa de rodagem mais $R_4 + \Delta R_4$, de forma a intersectar a equação da circunferência. A equação da reta é a apresentada na equação 6.10.

$$y = -1,62926183 \times x + 334663,005 - \frac{73,089}{\cos(\tan^{-1}(-1,62926183))} \quad (6.10.)$$

5. Assim, têm-se duas equações para duas incógnitas. A solução a que se chega é dupla pois a reta intersecta a circunferência em dois sítios, mas só uma solução é a desejada.

Após conhecer as coordenadas do centro C_4 , a partir das equações que relacionam os pontos notáveis de um ramo constituído por curvas de transição e curvas circulares, calculam-se os restantes pontos notáveis apresentados no quadro 6.14. O esquema de cálculo é apresentado no Anexo A.3.2.

De notar que, pela figura 6.7, o ponto O_4 e $O'_{3,B}$ têm de coincidir, sendo o raio neste ponto igual a infinito. A definição geométrica, de 25 em 25 m, apresenta-se no Anexo A.1.6.

Quadro 6.14. – Coordenadas dos pontos notáveis do Ramo B.

Pontos Notáveis	M (m)	P (m)
C ₃	88291,350	191702,276
C ₄	88343,287	191588,938
T' _{3,B}	88300,308	191643,847
O' _{3,B}	88317,439	191646,474
P' _{3,B}	88282,860	191644,649
T ₄	88334,075	191649,024
O ₄	88317,439	191646,474
P ₄	88351,013	191648,438
T' ₄	88395,096	191620,736
O' ₄	88403,900	191606,392
P' ₄	88383,703	191633,284

6.5.4. RAMO A+B2

O Ramo A+B2 liga a ES ao início do Ramo B, em curva circular. A parte inicial pode começar em curva circular ou curva de transição da ES. Após a tentativa falhada de se localizar em curva circular, o autor prevê que a melhor solução é a entrada situar-se em curva de transição. Por esta via, o processo de cálculo é um pouco mais complexo que os anteriores, pois será necessário definir previamente a partir de que ponto da curva de transição começa o ramo. Este ponto de partida, segundo o modelo dado na unidade curricular de CEAE, é apresentado na figura 6.8, mas aplicado a este caso em que começa no bordo da faixa de rodagem da ES. De forma a não haver perda de continuidade do traçado, a esse ponto de partida corresponde um raio da curva de transição (R_x), estando a ele associado um ponto T_x e o mesmo ponto osculador alinhamento reto/clotóide de saída da curva composta 2 da ES (O'_2). É importante realçar que, a curva de transição da ES foi definida em função ao eixo da mesma e não ao bordo, sendo a sua extensão diferente. Neste caso, a extensão é maior pois é o bordo exterior que se está a analisar. A expressão final que permite calcular corretamente o desenvolvimento da clotóide ao bordo da ES é a apresentada na equação 6.11.

$$l_{bordo\ exterior} = l + \frac{a \times l^2}{4 \times A^2} + \frac{l^3}{6 \times A^2 \times L} \times S_L \quad (6.11.)$$

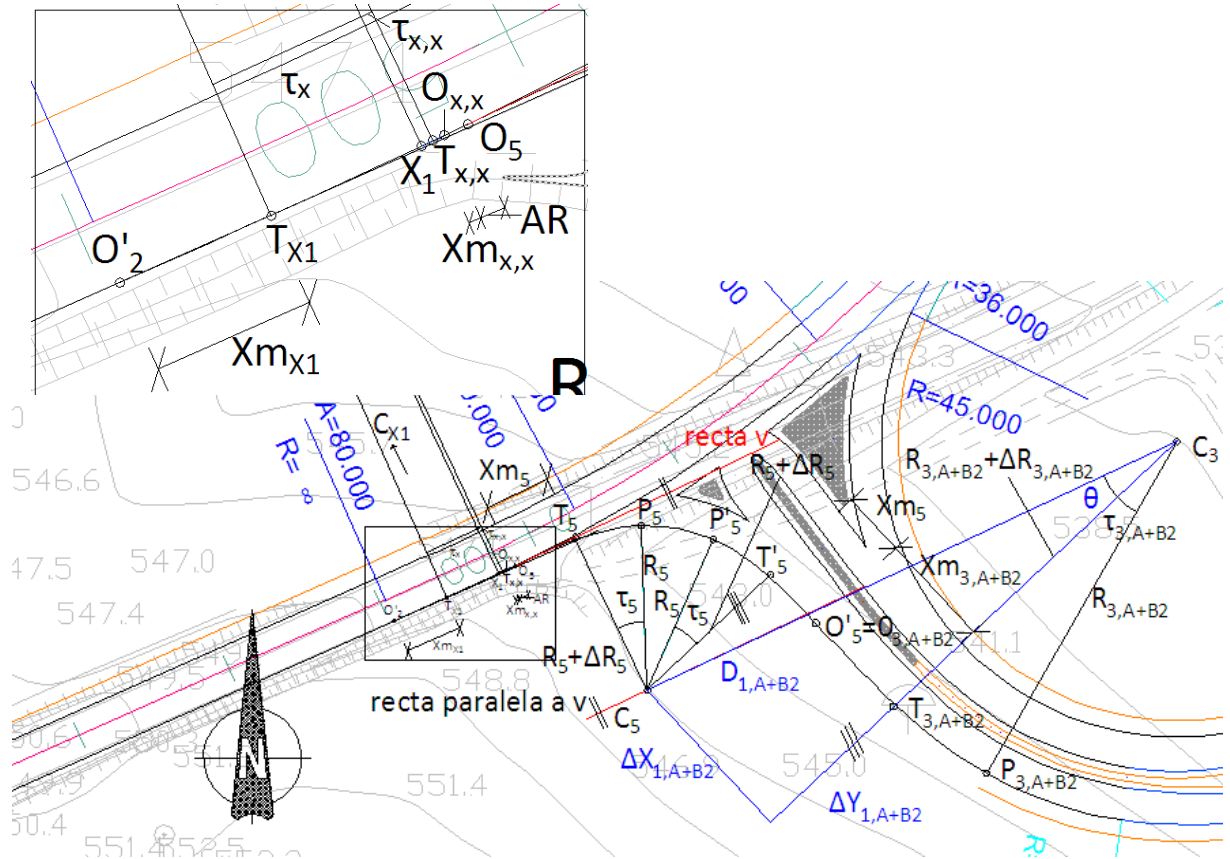


Figura 6.8. - Definição geométrica do Ramo A+B2.

Com base na tentativa de fixar o ponto de partida em curva circular, o resultado a que se chega foi a um ponto aproximado do PK 0+505,000 pertencente à curva de transição. Por esta razão, o autor define o ponto de partida a 17,500 m atrás do ponto de osculação alinhamento reto/curva de transição (O'_2). Fazendo $l=L$, determina-se o desenvolvimento total da curva de transição ao bordo ($L = 32,280$ m). A partir deste valor e sabendo que o raio da curva circular no bordo da faixa de rodagem é de 203,500 m, pela equação 3.5, chega-se ao valor do parâmetro A da clotóide definida ao bordo ($A = 81,049$ m). Com a extensão definida e o parâmetro calculado, obtém-se o valor do raio no ponto inicial que o autor define para o Ramo A+B2 ($R = 375,370$ m). Como a curvatura inicial do Ramo A+B2 é oposta à curvatura do elemento da ES, o objetivo do esquema da figura 6.8 é poder definir uma curva de transição, que sai do ponto inicial do Ramo A+B2 e se desenvolve com a mesma curvatura até atingir um ponto de raio infinito, de forma a introduzir, imediatamente, a curva de transição com a curvatura desejada. Os passos necessários são descritos a seguir:

1. Escolher a localização do ponto X_1 na curva de transição da ES que será o início do ramo A+B2 (descrito supra);
2. Calcular o raio da curva de transição nesse ponto (descrito supra). De maneira a não haver perda de continuidade, é definida uma nova curva de transição que será o desenvolvimento inicial do Ramo A+B2 em que o valor do raio da curva circular é o calculado no ponto X_1 mas com um parâmetro A distinto. Através destes dois dados é possível obter os restantes parâmetros caracterizadoras desta nova curva de transição apresentados no quadro 6.15.

3. Recorrendo às coordenadas retangulares, o cálculo das mesmas no ponto X_1 é apresentado no esquema de cálculo seguinte. Apresenta-se também o esquema que permite obter, a partir do ponto C_{x1} , as coordenadas do ponto $T_{x,x}$ e do $O_{x,x}$. Com estes dois pontos é possível definir então o alinhamento reto auxiliar (reta v).

$$O'_2 \rightarrow \frac{\overrightarrow{O'_2 T_{X1}}}{X_{mX1}} \rightarrow T_{X1} \rightarrow \frac{\overrightarrow{T_{X1} C_{X1}}}{R_{X1} + \Delta R_{X1}} \rightarrow C_{X1} \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_{X1} X_1}}{R_{X1}} \rightarrow X_1 \quad (6.12.)$$

$$C_{X1} \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_{X1} T_{X,X}}}{R_{X1} + \Delta R_{X,X}} \rightarrow T_{X,X} \rightarrow \frac{\overrightarrow{T_{X,X} O_{X,X}}}{X_{mX,X}} \rightarrow O_{X,X} \quad (6.13.)$$

Quadro 6.15. – Parâmetros geométricos do Ramo A+B2.

Parâmetro	Clotóide ao bordo até ao ponto X1	Clotóide de entrada X,X	Clotóide de entrada e saída 5	Clotóide de entrada 3,A+B2
R (m)	375,370	375,370	25,000	58,250
A (m)	81,049	22,500	22,500	45,000
L (m)	17,500	1,349	20,250	34,764
τ (rad.)	0,02331032	0,00179645	0,40500000	0,29840299
τ (gr.)	1,48398081	0,11436559	25,78310078	18,99692445
X (m)	17,499	1,349	19,920	34,456
Y (m)	0,136	0,001	2,702	3,436
X_m (m)	8,750	0,674	10,070	17,331
ΔR (m)	0,034	0,000	0,679	0,862

A partir deste momento está-se perante o mesmo processo usado anteriormente para definir o ramo de entrada anterior, em que as coordenadas do centro C_5 são obtidas pela intersecção da equação da circunferência de centro C_3 e raio $D_{1,A+B2} = 89,109$ m (equação 6.14.) e da equação da reta v auxiliar (equação 6.15). O cálculo da distância $D_{1,A+B2}$ e dos parâmetros da equação da reta são os mesmos descritos anteriormente. A partir do ponto $O_{x,x}$, o ramo será adicionalmente constituído por um alinhamento reto (se existir), uma curva de transição seguida de uma curva circular, por mais duas curvas de transição, formando a tal curva em S e pela curva circular de ligação ao Ramo B. A reta cruza igualmente a equação da circunferência em dois lados, sendo um deles o centro C_5 . Este processo não é único, isto é, o parâmetro A da curva de transição a seguir ao alinhamento reto é iterativo, no sentido de ser preciso garantir que o ponto O_5 , osculador a esse alinhamento mas calculado a partir do centro C_5 se situe depois do ponto $O_{x,x}$ (no sentido da circulação do Ramo A+B2). O autor procurou que a distância em alinhamento reto seja a mínima possível, de forma a não alongar a via de acesso ao ramo de ligação, visto não serem adotadas vias de aceleração nem abrandamento na intersecção.

$$(x_{C5} - x_{C3})^2 + (y_{C5} - y_{C3})^2 = D_{1,A+B2}^2 \quad (6.14.)$$

$$y = 0,47341948 \times x + 149932,211 - \frac{25,679}{\cos(\tan^{-1}(0,47341948))} \quad (6.15.)$$

Sendo assim, os parâmetros definidos pelo autor e calculados a partir destes são também apresentados no quadro 6.15. O parâmetro *A* das curvas de transição pertencentes ao centro *C*₅ é o mínimo segundo o quadro 4.2. O autor adotou o mesmo parâmetro no cálculo da curva de transição inicial do ramo de ligação. No final do desenvolvimento da curva em *S*, o ramo desenvolve-se em curva circular com o mesmo raio inicial do Ramo *B*, de maneira a garantir a continuidade da diretriz. Os restantes pontos notáveis são determinados segundo o esquema de cálculo apresentado no Anexo A.3.3. e apresentados no quadro 6.16.

Quadro 6.16. – Coordenadas dos pontos notáveis do Ramo A+B2.

Pontos Notáveis	M (m)	P (m)
O' ₂	88172,170	191674,971
T _{X1}	88180,170	191678,515
C _{X1}	88028,107	192021,743
X ₁	88188,115	191682,184
T _{x,x}	88188,724	191682,471
O _{x,x}	88189,334	191682,760
C ₃	88291,350	191702,276
C ₅	88210,669	191664,449
T ₅	88199,681	191687,659
O ₅	88190,580	191683,350
P ₅	88209,741	191689,432
T' ₅	88229,442	191681,971
O' ₅	88236,313	191674,610
P' ₅	88220,745	191687,329
T _{3, A+B2}	88248,138	191661,941
O _{3, A+B2}	88236,313	191674,610
P _{3, A+B2}	88262,336	191651,767

O desenvolvimento da curva circular obtido na parte final do Ramo A+B2 é menor que o preconizado no quadro 4.2. Porém, este facto não é grave, pois a extensão é tão diminuta que, em termos de segurança, os condutores não se apercebem se estão em curva de transição ou curva circular. Além disso, a velocidade, nesta parte do ramo, não será excessiva de forma a provocar alguma incomodidade.

6.5.5. RAMO A+B

O eixo do ramo A+B é definido tendo em consideração que a parte final do ramo será aproximadamente perpendicular à estrada ES, devido à intersecção. A orientação definida pelo autor é a orientação da reta m , que passa em C_2 e no PK 0+462,021 (Ponto X_2), situado a um terço do início da segunda curva circular. As coordenadas do ponto X_2 (eixo da ES) podem ser calculadas através das equações 3.13 e 3.14 a partir do centro C_2 , do raio da curva circular e da orientação azimuthal $\overrightarrow{C_2X_2}$. Traçando uma reta de C_2 a X_2 , a equação que a define é designada por 6.17.

$$C_2 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_2X_2}}{R_2} \rightarrow X_2 \quad (6.16.)$$

Quadro 6.17. – Definição da equação de reta m e coordenadas do ponto X_2 .

Dados	M (m)	P (m)	Valores
C_2	88104,279	191867,703	
(C_2P_2) (gr.)			154,00910848
(C_2P_2) (rad.)			2,41916942
Ângulo (rad.)			0,07512401
(C_2X_2) (rad.)			2,49429342
C_2X_2 (gr.)			158,79165123
α (rad)			0.64729923
m			-1,32283611
X_2	88224,885	191708,160	

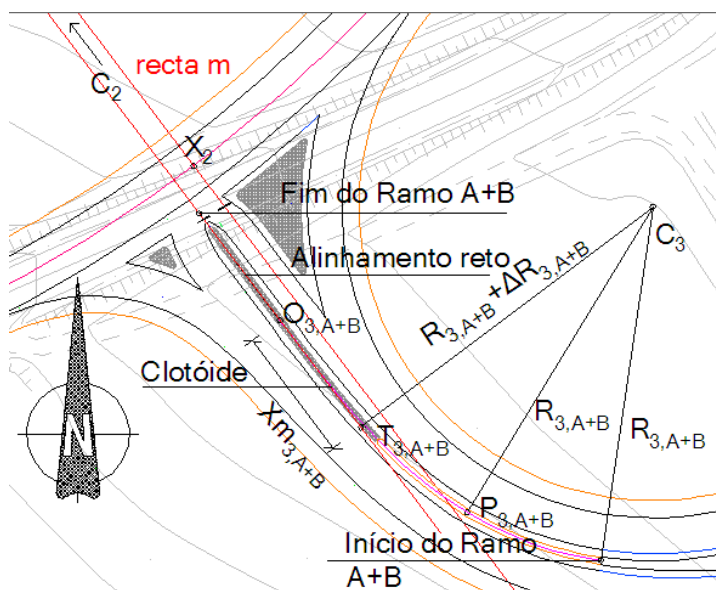


Figura 6.9. – Definição geométrica do Ramo A+B.

$$y = -1,32283611 \times x + 308415,224 \quad (6.17.)$$

A partir do perfil transversal do ramo bidirecional, determina-se o raio da curva circular ao eixo do ramo, em que o centro é o C_3 . O parâmetro da clotóide tangente ao alinhamento reto e à curva circular, segundo o quadro 4.2, é 45, pelo mesmo motivo explicado no subcapítulo 6.5.3 para $R = 58,250$ m. Ao adotar a mesma orientação da reta definida e, utilizando as equações 3.16 à 3.20 para calcular os parâmetros da curva de transição (quadro 6.18), estes permitem o cálculo das coordenadas dos pontos notáveis da curva de transição (figura 6.9), $T_{3,A+B}$, $O_{3,A+B}$ e $P_{3,A+B}$, apresentadas no quadro 6.19.

Quadro 6.18. - Parâmetros geométricos dos Ramos A+B e C+D

Parâmetro	Clotóide 3,A+B e 6,C+D
R (m)	51,750
A (m)	45,000
L (m)	39,130
τ (rad.)	0,37807183
τ (gr.)	24,06880047
X (m)	38,575
Y (m)	4,881
X_m (m)	19,472
ΔR (m)	1,227

Quadro 6.19. - Coordenadas dos pontos notáveis do Ramo A+B.

Pontos Notáveis	M (m)	P (m)
C_3	88291,350	191702,276
$T_{3,A+B}$	88249,090	191670,330
$O_{3,A+B}$	88237,348	191685,863
$P_{3,A+B}$	88264,503	191658,035

Representando os pontos notáveis na planta, é possível definir o eixo do Ramo A+B, o qual apresenta, no início, uma parte em curva circular, seguida da curva de transição e termina em alinhamento reto caracterizado pela equação 6.18, paralela à reta de equação 6.17. O final do Ramo A+B encontra-se sobre a berma exterior da ES. A definição geométrica da diretriz, de 25 em 25 m, do eixo do Ramo A+B é apresentada no Anexo A.1.7.

$$y = -1,32283611 \times x + 308415,224 - \frac{3,505}{\cos(\tan^{-1}(-1,32283611))} \quad (6.18.)$$

6.5.6. RAMO C E RAMO C+D1

O Ramo C e C+D1 é semelhante ao Ramo A e A+B1, com os mesmos parâmetros iniciais (quadro 6.20) devido à expectativa dos condutores, ou seja, como não há nenhuma restrição de espaço que obrigue o raio a ser menor, convém que os dois ramos indiretos sejam idênticos, no sentido de ir de encontro com a expectativa do condutor e também de melhorar o processo construtivo. Assim, o centro C_6 do *loop* é definido também através da figura 6.6, mas, neste caso, o centro encontra-se no quadrante oposto, em que a equação da reta paralela representativa dos dois alinhamentos, um da EP e outro da ES, é a apresentada nas equações 6.19 e 6.20, respetivamente. A distância paralela ao eixo das estradas continua a ser metade da largura da faixa de rodagem mais o valor de $R_6 + \Delta R_6$ (quadro 6.11). O centro C_6 obtém-se igualando as duas equações apresentadas (6.19 e 6.20).

Quadro 6.20. – Parâmetros geométricos dos Ramos C e C+D1.

Parâmetro	Clotóide de entrada e saída 6,C
R (m)	45,000
A (m)	36,000
L (m)	28,800
τ (rad.)	0,32000000
τ (gr.)	20,37183272
X (m)	28,506
Y (m)	3,050
X_m (m)	14,351
ΔR (m)	0,765

$$y = -1,62926183 \times x + 335663,005 + \frac{58,065}{\cos(\tan^{-1}(-1,62926183))} \quad (6.19.)$$

$$y = 1,03464329 + 100423,112 + \frac{49,265}{\cos(\tan^{-1}(1,03464329))} \quad (6.20.)$$

A definição dos pontos notáveis é semelhante à do ramo A e A+B1, sendo o esquema de cálculo o apresentado no Anexo A.3.4. e as coordenadas estão indicadas no quadro 6.21.

De igual modo ao exposto acima, no subcapítulo 6.5.2, o Ramo C terá desenvolvimento até ao início do ramo bidirecional. A continuação do ramo a partir desse ponto até à ES é designada de Ramo C+D1, constituído pelo desenvolvimento restante da curva circular e a curva de transição final do *loop*. No Anexo A.1.8 é apresentada a definição geométrica do Ramo C, de 25 em 25 m.

Quadro 6.21. - Coordenadas dos pontos notáveis dos Ramos C e C+D1.

Pontos Notáveis	M (m)	P (m)
C ₆	88321,466	191875,213
T _{6,C}	88282,462	191851,273
T' _{6,C}	88354,373	191843,408
O _{6,C}	88289,969	191839,042
O' _{6,C}	88344,400	191833,089
P _{6,C}	88277,656	191864,933
P' _{6,C}	88362,018	191855,706

6.5.7. RAMO D

O Ramo D será constituído, homologamente ao ramo B, por uma curva em *S* (constituída por duas curvas de transição) seguida de uma curva circular e uma curva de transição, em que a ligação à estrada principal não se efectua em alinhamento reto, mas em curva circular. Deste modo, o processo de obtenção do centro é diferente, sendo as coordenadas desse centro (C₇), calculadas a partir da intersecção de duas equações de circunferência, correspondendo ao esquema académico da curva ovóide, ilustrado na figura 6.10 e adaptado ao projeto. Os passos no cálculo do centro C₇ são descritos infra.

1. O raio da curva da EP e as coordenadas do seu centro são dados iniciais do projeto, com um $R = 700$ m. O raio mínimo da curva de transição que concorda com a curva na EP, por motivos construtivos, é igual ao do ramo B nesta zona, ou seja, 60 m.
2. Como não pode haver descontinuidade do traçado entre o Ramo D e a curva circular da EP, o parâmetro *A* tem de ser igual. Este parâmetro é retirado do quadro 4.2 em função do raio mínimo da curva de transição do ramo. A partir destes dados, o autor está apto para calcular todos os restantes parâmetros (quadro 6.22) tanto da curva de transição com $R = 700$ m e da curva com $R = 60$ m.

Quadro 6.22. – Parâmetros geométricos do Ramo D.

Parâmetro	Clotóide de saída 6,D	Clotóide de entrada e saída 7	Clotóide de saída na EP
R (m)	58,250	60,000	687,700
A (m)	45,000	45,000	45,000
L (m)	34,764	33,750	2,945
τ (rad.)	0,29840299	0,28125000	0,00214090
τ (gr.)	18,99692445	17,90493110	0,13629412
X (m)	34,456	33,484	2,945
Y (m)	3,436	3,146	0,002
X _m (m)	17,331	16,831	1,472
ΔR (m)	0,862	0,789	0,001

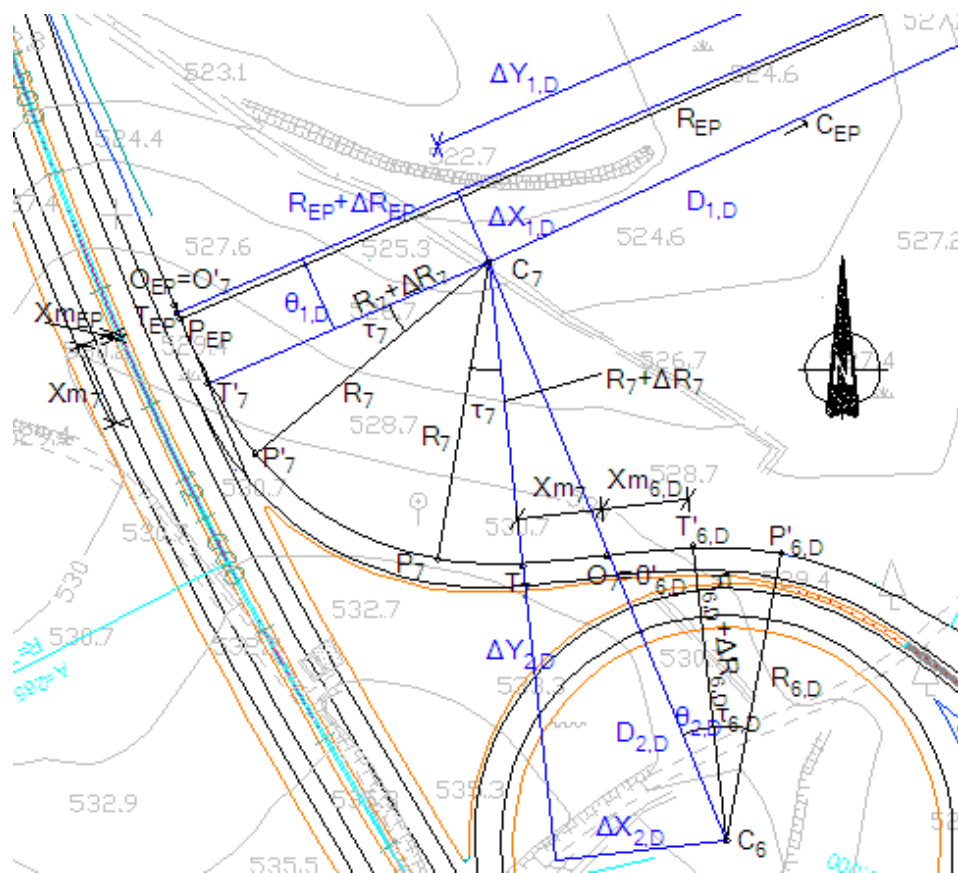


Figura 6.10. - Definição geométrica do Ramo D.

3. Partindo do ponto O'_7 e O_{EP} (coincidentes), o traçado do desenvolvimento L das duas curvas deve ser coincidente ao longo do comprimento da clotóide da EP. Importante assinalar que os pontos O'_7 e O_{EP} não existem na diretriz, sendo apenas pontos auxiliares para a qual é definida a curva de transição que liga à curva circular da EP. Assim, o comprimento da clotóide da EP vai desde ponto O_{EP} até à intersecção com a curva circular sendo esse o ponto P_{EP} da curva circular. Para o ramo, esse comprimento é maior, iniciando-se no mesmo ponto, neste caso O'_7 , até ao início da curva circular pertencente ao ramo de entrada. Deste modo, o troço final de P_{EP} a O_{EP} é decalcado pela clotóide de saída 7, sendo o comprimento da clotóide que liga à estrada principal a diferença desses L 's ($L_{clotóide} = 33,750 - 2,945 = 30,805$ m).
4. A primeira equação da circunferência (equação 6.24) é a que tem centro em C_{EP} e raio $D_{1,D}$, que corresponde à distância entre o C_{EP} e o C_7 . O valor de $D_{1,D}$, no caso da curva ovóide, é calculado pela equação 6.23, em que:

$$\Delta X_{1,D} = X_{m7} - X_{mEP} \quad (6.21.)$$

$$\Delta Y_{1,D} = (R_{EP} + \Delta R_{EP}) - (R_7 + \Delta R_7) \quad (6.22.)$$

$$D_{1,D} = \sqrt{\Delta X_{1,D}^2 + \Delta Y_{1,D}^2} \quad (6.23.)$$

$$(x_{C7} - x_{CEP})^2 + (y_{C7} - y_{CEP})^2 = D_{1,D}^2 \quad (6.24.)$$

5. A outra equação da circunferência (equação 6.28) vem do modelo da curva em S, processo já explicado para o ramo B, em que, neste caso, o centro da equação é o centro C₆ e D_{2,D} a distância do centro C₆ ao centro C₇, calculada através da equação 6.27. Assim, a intersecção destas duas equações dá duas soluções sendo apenas uma a correspondente às coordenadas do centro C₇. No quadro 6.23 apresentam-se os valores necessários à determinação do centro C₇.

$$\Delta X_{2,D} = X_{m6,D} + X_{m7} \quad (6.25.)$$

$$\Delta Y_{2,D} = (R_{6,D} + \Delta R_{6,D}) + (R_7 + \Delta R_7) \quad (6.26.)$$

$$D_{2,D} = \sqrt{\Delta X_{2,D}^2 + \Delta Y_{2,D}^2} \quad (6.27.)$$

$$(x_{C7} - x_{C6})^2 + (y_{C7} - y_{C6})^2 = D_{2,D}^2 \quad (6.28.)$$

Quadro 6.23. - Dados para a determinação do centro C₇.

Parâmetro	M (m)	P (m)	Valor
C ₆	88321,466	191875,213	
C _{EP}	88843,289	192253,341	
D _{1,D} (m)			627,100
D _{2,D} (m)			124,672

Depois de conhecer as coordenadas do centro C₇, o processo de determinar os pontos notáveis, representados na figura 6.10, é realizado com base nos esquemas de cálculo que constam no Anexo A.3.5. No quadro 6.24 são apresentadas as coordenadas dos pontos notáveis.

À semelhança do Ramo B, o ponto O'_{6,D} e O₇ têm de coincidir, pois foram definidos à custa dessa condição. A coordenada do último ponto do Ramo D não é o ponto O'₇, mas um ponto à distância 2,945 m de O'₇ (distância esta em curva de transição). Esta coordenada final do ramo é apresentada na definição geométrica do Ramo D, de 25 em 25 m, no Anexo A1.9.

Quadro 6.24. - Coordenadas dos pontos notáveis do Ramo D.

Pontos Notáveis	M (m)	P (m)
C ₆	88321,466	191875,213
C ₇	88273,944	191990,472
T' _{6,D}	88314,770	191933,944
O' _{6,D}	88297,552	191931,981
P' _{6,D}	88332,175	191932,470
T ₇	88280,829	191930,075
O ₇	88297,552	191931,981
P ₇	88263,927	191931,314
T' ₇	88218,146	191966,350
O' ₇	88211,467	191981,799
P' ₇	88227,642	191952,312

6.5.8. RAMO C+D2

Pela forma que o eixo do ramo D da parte inicial está a tomar, a parte inicial que liga este ramo à ES vai começar em curva circular. O raio da curva circular que concorda com a ES tem o mesmo valor que o raio da curva circular do Ramo A+B2, mesmo havendo menos espaço de manobra, devido ao intradorso da curva. Estes raios são definidos com um valor mais diminuto, mas sempre respeitando o raio mínimo proposto para as viragens à direita (quadro 5.5), como forma de avisar os condutores a percorrerem a curva com uma velocidade adequada e não excessiva. O processo de cálculo é semelhante ao descrito em 6.5.7, pois o centro C₈ também é obtido através de duas equações de circunferência, em que o modelo esquemático exemplificativo é a curva ovóide no início do ramo e a curva em S no fim do ramo. No quadro 6.25 apresentam-se os parâmetros necessários para a definição geométrica do ramo.

Quadro 6.25. - Parâmetros geométricos do Ramo C+D2.

Parâmetro	Clotóide de entrada 6,C+D2	Clotóide de entrada e saída 8	Clotóide de entrada na ES
R (m)	58,250	25,000	176,056
A (m)	45,000	25,000	25,000
L (m)	34,764	25,000	3,550
τ (rad.)	0,29840299	0,50000000	0,01008209
τ (gr.)	18,99692445	31,83098862	0,64184576
X (m)	34,456	24,382	3,550
Y (m)	3,436	4,093	0,012
Xm (m)	17,331	12,397	1,775

Parâmetro	Clotóide de entrada 6,C+D2	Clotóide de entrada e saída 8	Clotóide de entrada na ES
ΔR (m)	0,862	1,032	0,003

Assim, a primeira equação de circunferência (equação 6.32) terá centro em C_1 e raio $D_{1,C+D2}$. O cálculo do raio tem por base o modelo da ovóide, logo:

$$\Delta X_{1,C+D2} = X_{m8} - X_{mES} \quad (6.29.)$$

$$\Delta Y_{1,C+D2} = (R_{ES} + \Delta R_{ES}) - (R_8 + \Delta R_8) \quad (6.30.)$$

$$D_{1,C+D2} = \sqrt{\Delta X_{1,C+D2}^2 + \Delta Y_{1,C+D2}^2} \quad (6.31.)$$

$$(x_{C8} - x_{C1})^2 + (y_{C7} - y_{C1})^2 = D_{1,C+D2}^2 \quad (6.32.)$$

A segunda equação de circunferência (equação 6.36) tem por base o modelo da curva em S , com centro em C_6 e raio igual a $D_{2,C+D2}$. No quadro 6.26 são apresentados os dados necessários à determinação do centro C_8 .

$$\Delta X_{2,C+D2} = X_{m6,C+D2} + X_{m8} \quad (6.33.)$$

$$\Delta Y_{2,C+D2} = (R_{6,C+D2} + \Delta R_{6,C+D2}) + (R_8 + \Delta R_8) \quad (6.34.)$$

$$D_{2,C+D2} = \sqrt{\Delta X_{2,C+D2}^2 + \Delta Y_{2,C+D2}^2} \quad (6.35.)$$

$$(x_{C8} - x_{C6})^2 + (y_{C7} - y_{C6})^2 = D_{2,C+D2}^2 \quad (6.36.)$$

Quadro 6.26. - Dados para a determinação do centro C_8 .

Parâmetro	M (m)	P (m)	Valor
C_1	88250,456	191990,887	
C_6	88321,466	191875,213	
$D_{1,C+D2}$ (m)			150,402
$D_{2,C+D2}$ (m)			90,184

A partir das coordenadas do centro C_8 , o esquema de cálculo das restantes coordenadas dos pontos notáveis é descrito no Anexo A.3.6. No quadro 6.27 são apresentadas as coordenadas dos pontos notáveis. Como seria de esperar, o ponto O'_8 e $O_{6,C+D2}$ coincidem.

Quadro 6.27. - Coordenadas dos pontos notáveis do Ramo C+D2.

Pontos Notáveis	M (m)	P (m)
C_6	88321,466	191875,213
C_8	88389,740	191934,136
T_8	88414,482	191926,040
O_8	88418,337	191937,822
P_8	88406,864	191915,922
T'_8	88376,740	191911,582
O'_8	88366,000	191917,772
P'_8	88389,168	191909,142
$T_{6,C+D2}$	88350,985	191926,427
$O_{6,C+D2}$	88366,000	191917,772
$P_{6,C+D2}$	88334,432	191932,002

6.5.9. RAMO C+D

À semelhança do Ramo A+B, o Ramo C+D é também um ramo bidirecional que começa no perfil final do Ramo C e no inicial do Ramo D. O seu eixo, segundo a figura 6.11, situa-se no centro das guardas de segurança, terminando na berma da ES com um ângulo aproximadamente ortogonal, de maneira a facilitar as viragens entre as duas estradas. Para este caso, a orientação do alinhamento reto final é definida tendo em conta que este termina no PK 0+260,053 (ponto X_3). Este PK situa-se na segunda clotóide da primeira curva composta da ES. Sabendo o comprimento do arco (l) da clotóide correspondente a esse perfil e o parâmetro A , determina-se o raio para aquele ponto (X_3). A partir destes três dados é possível calcular os restantes parâmetros da clotóide e determinar as coordenadas do centro C_{X3} (quadro 6.28), conforme o esquema de cálculo abaixo descrito. De igual modo que no Ramo A+B, é possível definir a reta n que passa em C_{X3} e X_3 , geometrizada pela equação 6.38. O eixo é definido sabendo o raio da curva circular no ramo bidirecional, através do perfil transversal deste, e calculando os parâmetros caracterizadores da clotóide (quadro 6.18). Assim, como o Ramo C tem o mesmo raio que o Ramo A e o mesmo perfil transversal no ramo bidirecional, o raio do Ramo C+D ao eixo é 51,750 m. Consultando o quadro 4.2 e pela mesma razão apresentada no subcapítulo 6.5.3 para o $R=58,250$ m, o parâmetro A é 45 m.

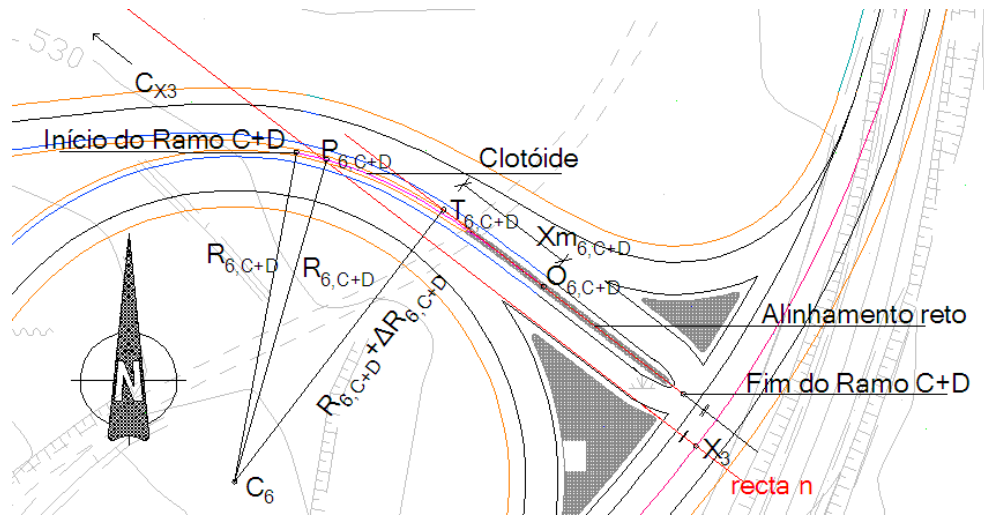


Figura 6.11. - Definição geométrica do Ramo C+D.

$$O'_1 \rightarrow \frac{\overrightarrow{O'_1 T_{X3}}}{Xm_{X3}} \rightarrow T_{X3} \rightarrow \frac{\overrightarrow{T_{X3} C_{X3}}}{R_{X3} + \Delta R_{X3}} \rightarrow C_{X3} \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_{X3} X_3}}{R_{X3}} \rightarrow X_3 \quad (6.37.)$$

$$y = -0,76901586 \times x + 259856,150 \quad (6.38.)$$

Quadro 6.28. - Dados para a obtenção das coordenadas do ponto X₃.

Parâmetro	Clotóide X3		Ponto	M (m)	P (m)
l (m)	47,500		O'₁	88361,108	191845,339
A (m)	100,000		T _{X3}	88377,606	191862,409
R (m)	210,526		C _{X3}	88225,908	192009,028
τ (rad.)	0,11281250	→	X ₃	88392,793	191880,690
τ (gr.)	7,18186681				
X (m)	47,440				
Y (m)	1,785				
X _m (m)	23,740				
ΔR (m)	0,4463				

Calculando agora os pontos notáveis do eixo C+D (quadro 6.29), o ramo desenvolve-se inicialmente em curva circular, seguida da curva de transição e terminando em alinhamento reto. Conhecendo o ponto O_{6,C+D}, traça-se uma reta paralela à definida anteriormente pela orientação $\overrightarrow{C_{X3} X_3}$, passando nesse ponto (equação 6.39).

$$y = -0,76901586 \times x + 259856,150 + \frac{5,153}{\cos(\tan^{-1}(-0,76901586))} \quad (6.39.)$$

Observa-se que o Ramo C+D intersecta a ES em curva de transição. A definição geométrica do eixo do Ramo C+D efetua-se, de igual modo, de 25 em 25 m e é apresentada no Anexo A.1.10.

Quadro 6.29. - Coordenadas dos pontos notáveis do Ramo C+D.

Pontos Notáveis	M (m)	P (m)
C ₆	88321,466	191875,213
T _{6,C+D}	88353,761	191917,208
O _{6,C+D}	88369,197	191905,337
P _{6,C+D}	88335,643	191924,983

6.6. TRAÇADO EM PLANTA - INTERSECÇÕES

6.6.1. GENERALIDADES

Definidos os eixos do Ramo A+B e do Ramo C+D e os respetivos bordos das faixas de rodagem à direita e à esquerda, o próximo passo é a definição geométrica das intersecções. Os ângulos da intersecção 1 e 2 são 97,984037599 e 101,11559273 grados, respetivamente, logo entre 80 e 120 grados. Os raios de viragem à direita já estão definidos, sendo geometrizados através de uma curva circular e uma curva de transição, no caso dos ramos A+B1 e C+D1, e por uma curva composta no caso dos ramos A+B2 e C+D2 na ligação à ES, maiores ou iguais a 25,0 m, de acordo com o quadro 5.5. Assim, em ambas as intersecções falta a definição geométrica da ilha separadora e das ilhas direcionais, cuja teoria de cálculo terá como base os subcapítulos 5.3.3 e 5.3.6. A ilha separadora será um pouco diferente da apresentada no subcapítulo 5.3.6, pois o eixo central faz ligação a um nó de ligação. Deste modo, a parte central é constituída por um separador com larguras já definidas no perfil transversal dos ramos bidirecionais, sendo estas de 1,0 m para cada berma interior e de 1,0 m de espaço para as guardas de segurança, perfazendo um total de 3,0 m. Esta largura é constante até jusante da ilha separadora. O autor prevê que, tanto a ilha separadora como as ilhas direcionais, sejam executadas com um lancil de betão com aproximadamente uma altura de 15 cm e preenchidas com material diferente do pavimento.

6.6.1. INTERSECÇÃO 1

Pelo referido no subcapítulo anterior, a largura máxima da ilha separadora é de 3,0 m. O raio definido para a viragem à esquerda pela estrada secundária (REP) é, segundo o quadro 5.4, de 13,0 m e o raio de viragem à esquerda pelo Ramo A+B (RES) toma o mesmo valor de acordo com o mesmo quadro. Os valores apresentados correspondem a um ângulo de intersecção de 100 grados. O autor está ciente que o ângulo de intersecção apresentado não é igual a 100 grados mas muito aproximado. Assim, as duas equações que definem o centro C_{1,1} são uma equação de circunferência (equação 6.40) com centro em C₁ e raio D_{1,1} igual 180,000 m menos o RES e uma equação de reta (equação 6.41), paralela à reta *n*, definida para a orientação do Ramo C+D, à distância de RES, se esta tiver sobre o traço branco esquerdo de quem pretende sair da ES.

$$(M_{C_{1,1}} - M_{C_1})^2 + (P_{C_{1,1}} - P_{C_1})^2 = D_{1,1}^2 \quad (6.40.)$$

$$y = -0,76901586 \times x + 259856,150 + \frac{16,653}{\cos(\tan^{-1}(-0,76901586))} \quad (6.41.)$$

Para o cálculo do $C_{2,1}$, como a viragem à esquerda pela principal se situa em clotoíde, o autor define o ponto X_4 para o início da viragem com base num esquema gráfico aproximado, em que se define o centro $C_{2,1}$ a partir da equação da circunferência expressa pela equação 6.40, mas em vez de deduzir o RES subtrai o REP, e da reta paralela à reta n , à distância de REP se esta estiver sobre o traço branco esquerdo de quem entra em C+D (equação 6.44). Fazendo uma circunferência de raio REP no centro $C_{2,1}$, esta é quase tangente à curva de transição. Esse ponto quase tangente dá-nos uma aproximação do PK que o autor deve definir para começar a viragem à esquerda pela estrada principal. O perfil definido é o PK 0+253,030. Nesse ponto X_4 é calculado o raio através do comprimento de arco (l) da clotoíde a que corresponde esse PK e do parâmetro A . Conhecido o raio e fazendo a equação da circunferência para o ponto X_4 , em que o centro já não é C_1 , mas o calculado para aquele raio (C_{X_4}), como descrito no esquema de cálculo abaixo. Assim, a equação de circunferência (equação 6.43) tem centro em C_{X_4} e raio $D_{2,1}$ igual ao raio no ponto X_4 menos o REP. A equação da reta que permite obter o ponto de intersecção que dá as coordenadas do centro $C_{2,1}$ é a mesma já definida, para o cálculo aproximado do perfil inicial definido pelo autor. As coordenadas dos centros $C_{1,1}$ e $C_{2,1}$ são apresentadas no quadro 6.31, bem como os valores dos dados necessários.

$$O'_1 \rightarrow \frac{\overrightarrow{O'_1 T_{X_4}}}{X_{m,X_4}} \rightarrow T_{X_4} \rightarrow \frac{\overrightarrow{T_{X_4} C_{X_4}}}{R_{X_4} + \Delta R_{X_4}} \rightarrow C_{X_4} \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_{X_4} X_4}}{R_{X_4}} \rightarrow X_4 \quad (6.42.)$$

$$(M_{C_{2,1}} - M_{C_{X_4}})^2 + (P_{C_{2,1}} - P_{C_{X_4}})^2 = D_{2,1}^2 \quad (6.43.)$$

$$y = -0,76901586 \times x + 259856,150 - \frac{6,347}{\cos(\tan^{-1}(-0,76901586))} \quad (6.44.)$$

Quadro 6.30. – Dados para obtenção das coordenadas do ponto X4.

Parâmetro	Clotóide de saída 1, X4		
I (m)	40,000		
A (m)	100,000		
R (m)	250,000		
τ (rad.)	0,080000000	→	
τ (gr.)	5,092958179		
X (m)	39,974		
Y (m)	1,066		
Xm (m)	19,996		
ΔR (m)	0,267		
		Ponto	M (m) P (m)
		O1'	88361,108 191845,339
		TX4	88375,004 191859,717
		CX4	88195,052 192033,644
		X4	88388,122 191874,823

Quadro 6.31. - Dados necessários para o cálculo das coordenadas dos centros C_{1,1} e C_{2,1}.

Dados	M (m)	P (m)	Valor
Distância paralela da recta <i>n</i> ao eixo C+D (m)			5,153
Meia largura da ilha separadora (m)			1,500
RES = REP			13,000
C ₁	88250,456	191990,887	
D _{1,1}			167,000
C _{X4}	88195,052	192033,644	
D _{2,1}			237,000
Resultados	M (m)	P (m)	
C _{1,2}	88392,020	191902,294	
C _{2,2}	88378,542	191883,643	

A cabeça jusante da ilha separadora vai ter um raio mínimo, R_{3,1}, de 0,750 m. O centro C_{3,1}, da curva de raio R_{3,1}, é definido através do sistema de equações 6.45 e 6.46. De forma a entender melhor o seu cálculo, é ilustrado na figura 6.12 um esquema exemplificativo.

$$(x_{C3,1} - x_{C1,1})^2 + (y_{C3,1} - y_{C1,1})^2 = (RES - R_{3,i})^2 \quad (6.45.)$$

$$(x_{C3,1} - x_{C2,1})^2 + (y_{C3,1} - y_{C2,1})^2 = (REP - R_{3,i})^2 \quad (6.46.)$$

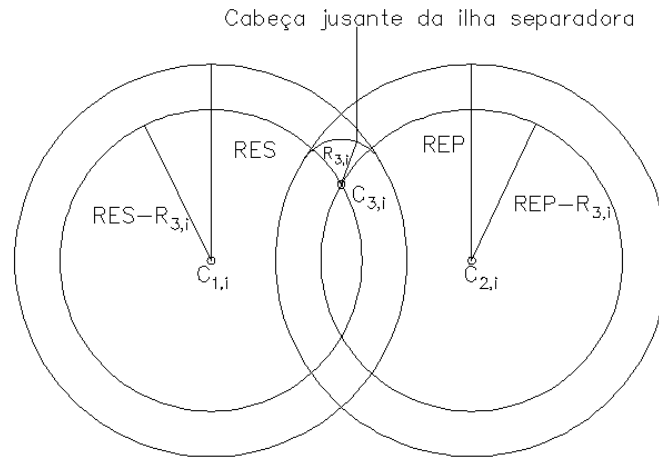


Figura 6.12. – Esquema exemplificativo de obtenção do centro da cabeça jusante da ilha separadora.

A distância entre a cabeça jusante e o limite da faixa de rodagem da ES deverá estar entre 2,0 e 4,0 m. Neste caso concreto, essa distância é superior e toma o valor de 4,498 m, o que é perfeitamente viável e não excessivo.

Os pontos a partir do quinto, aquando da explicação da construção da ilha separadora no subcapítulo 5.3.6, não são aplicados neste caso, pois a ilha separadora faz ligação com o separador central do ramo bidirecional. Neste projeto, a distância na qual o separador vem materializado é de 40,0 m, devido às guardas serem um equipamento que reduz a visibilidade ao condutor na aproximação da intersecção.

A definição dos ilhéus direcionais é feita através de curvas concêntricas às linhas representativas das curvas de viragem, à distância preconizada para as faixas de rodagem de viragem na intersecção (4,0 m para a viragem à esquerda para quem entra na ES e 5,0 m nas restantes). As linhas definidas correspondem ao traço branco. As ilhas direcionais são ainda materializadas, conforme a largura das bermas e dos raios apresentados na figura 5.6. O autor definiu, então, uma largura das bermas de 1,0 m e raios internos das ilhas (a juntar os cantos), em que R_1 é igual a 0,3 m e R_2 igual a 0,5 m como ilustrado na figura 6.13. As áreas de cada ilha direcional são apresentadas no quadro 6.32, constatando que cumpre o mínimo regulamentar ($6,0 \text{ m}^2$). O valor ideal está longe de aparecer, pois o raio de viragem à direita para a ES é bastante superior ao mínimo estabelecido pelo quadro 5.5, vindo a área da ilha direcional também aumentada. Na figura 6.13 é representada a Intersecção 1.

Quadro 6.32. - Áreas das ilhas direcionais da Intersecção 1.

Ilha	A	B
Área (m^2)	$\approx 64,0$	$\approx 220,0$

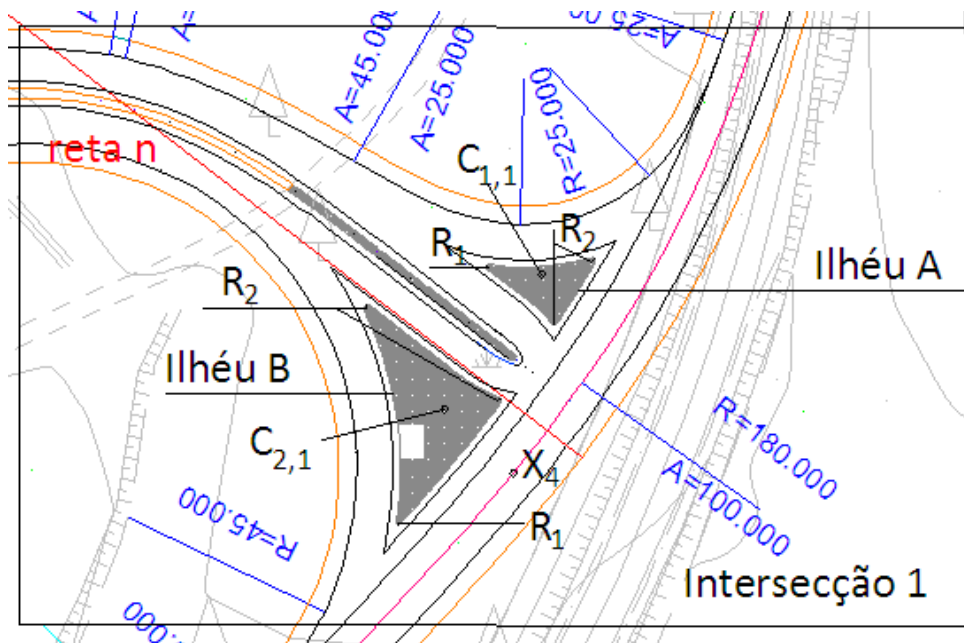


Figura 6.13. - Representação da Intersecção 1

6.6.3. INTERSECÇÃO 2

À semelhança da intersecção 1, a intersecção 2 terá a mesma largura (3,0 m) e visto que o ângulo de intersecção é aproximadamente 100 graus, os raios de viragem à esquerda (RES e REP) serão os mesmos. O processo de construção e geometrização da ilha separadora é em tudo semelhante, mudando as equações que definem o centro $C_{1,2}$ e $C_{2,2}$. Os centros $C_{1,2}$ e $C_{2,2}$ das curvas circulares correspondentes aos raios definidos anteriormente são obtidos através da intersecção de uma reta com, neste caso, apenas uma equação de circunferência. A equação de circunferência (equação 6.47) tem o seu centro em C_2 com um raio $D_{1,2}$ igual ao raio da segunda curva composta definida ao eixo mais o raio de viragem à esquerda pela estrada secundária ou pelo Ramo A+B, conforme o centro a calcular. A equação da circunferência é igual, pois os raios de viragem são idênticos e a viragem dá-se em curva circular da ES. A equação da reta para o cálculo do centro $C_{1,2}$ é a apresentada na equação 6.48, paralela ao traço branco esquerdo da faixa de rodagem à distância do RES. Importante é referir que a equação da reta foi definida inicialmente a passar no PK 462,021, de maneira que a distância apresentada na equação não pode ser o valor de 13,0 m, sendo preciso primeiro fazer coincidir a reta com o limite esquerdo da faixa de rodagem de quem pretende entrar na ES e, só depois, aplicar a distância de 13,0 m. De igual modo, a equação da reta para cálculo de $C_{2,2}$ apresenta-se na equação 6.49 em que inicialmente se faz coincidir a reta com o traço esquerdo da faixa de rodagem de quem pretende entrar no Ramo A+B, dando a seguir a distância de 13,0 m.

$$(x_{C_{1,2}} - x_{C_2})^2 + (y_{C_{1,2}} - y_{C_2})^2 = D_{1,2}^2 \quad (6.47.)$$

$$y = -1,32283611 \times x + 308415,224 - \frac{15,005}{\cos(\tan^{-1}(-1,32283611))} \quad (6.48.)$$

$$y = -1,32283611 \times x + 308415,224 - \frac{7,995}{\cos(\tan^{-1}(-1,32283611))} \quad (6.49.)$$

As coordenadas dos centros $C_{1,2}$ e $C_{2,2}$ são apresentadas no quadro 6.33, bem como os dados necessários ao seu cálculo.

Quadro 6.33. - Dados necessários para o cálculo dos centros $C_{1,2}$ e $C_{2,2}$.

Dados	M (m)	P (m)	Valor
Distância paralela da reta m ao eixo A+B (m)			3,505
Meia largura da ilha separadora (m)			1,500
RES (m)			13,000
REP (m)			13,000
C_2	88104,279	191867,703	
$D_{1,2}$ (m)			213,000
Resultados	M (m)	P (m)	
$C_{1,2}$	88220,436	191689,164	
$C_{2,2}$	88239,012	191702,731	

O raio da cabeça jusante tem o mesmo valor que para a intersecção 1 e o processo de cálculo do seu centro ($C_{3,2}$) é idêntico. A distância entre a cabeça jusante e o limite da faixa de rodagem dá igualmente um valor superior ao limite de 4,0 m. Porém, pela mesma razão, este valor é aceitável. A definição da cabeça montante da ilha separadora é feita da mesma forma que para a intersecção 1, ou seja, não existe, ligando diretamente ao separador central. A parte da ilha separadora vem materializada numa largura de 1,0 m até uma distância igual a 40,0 m. A definição dos ilhéus direcionais é feita, da mesma forma, através de linhas concêntricas às representativas das curvas de viragem, à distância preconizada para as faixas de rodagem de viragem na intersecção (4,0 para a viragem à esquerda para quem entra na ES e 5,0 nas restantes). As linhas definidas correspondem ao traço branco. As ilhas direcionais são ainda materializadas, conforme a largura das bermas e os raios apresentados na figura 5.6. Convém que a largura das bermas e os raios internos das ilhas, bem como o aspeto visual da intersecção, seja muito semelhante à intersecção 1, devido à expectativa dos condutores e a um agravamento do tempo de decisão que um *layout* diferente provoca. Assim, a largura das bermas e os raios internos das ilhas são os mesmos que na intersecção 1. As áreas de cada ilha direcional são apresentadas no quadro 6.34, constatando que cumpre o mínimo regulamentar (6 m^2). Na ilha direcional B, apesar de estar em curva, as arestas são em alinhamentos retos porque estes têm uma extensão inferior a 4,0 m. Na figura 6.14 ilustra-se a Intersecção 2.

Quadro 6.34. - Áreas das ilhas direcionais da Intersecção 2.

Ilha	A	B
Área (m^2)	$\approx 91,0$	$\approx 6,50$

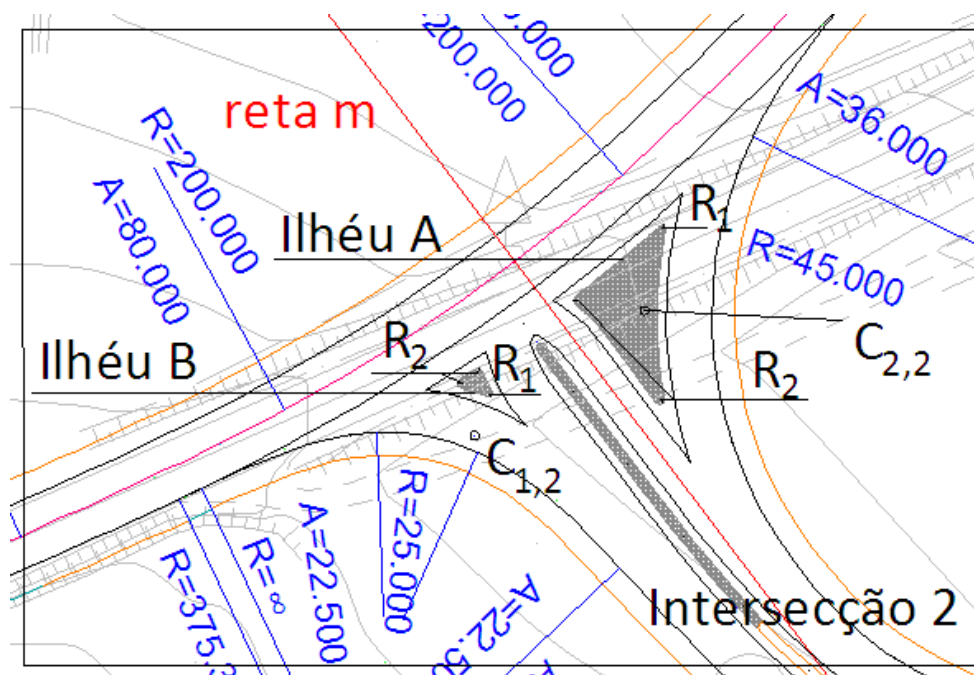


Figura 6.14. - Representação da Intersecção 2.

Neste momento, estão definidos os eixos de cada ramo de ligação e a definição geométrica em planta das intersecções, faltando apenas abordar as vias auxiliares a projetar na Estrada Principal.

6.7. TRAÇADO EM PLANTA – VIAS AUXILIARES

6.7.1. GENERALIDADES

Como referido, as vias auxiliares serão todas do tipo paralelo, sendo mínima a afetação com a corrente de tráfego da estrada principal. Assim, os Ramos A e C vêm dotados de uma via de abrandamento e os Ramos B e D de via de aceleração. Na estrada secundária não foram definidas vias de aceleração nem de abrandamento pois, de acordo com o quadro 5.6, para o tipo de intersecção 33 e 34 (figura 4.1), como é o caso do presente projeto, estas são previstas em função dos volumes de tráfego, os quais como foi referido inicialmente, são reduzidos. Ainda é relevante perceber que, na zona de intersecção, os ramos de viragem para entrar na estrada secundária são munidos com um sinal de paragem obrigatória.

O objetivo passa, então, por definir a extensão das vias auxiliares na estrada principal, e respetivos *tapers*. Para isso, são usados os quadros 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10 das Normas Espanholas. No caso das vias de abrandamento, estas terminam no ponto em que o traço branco esquerdo do ramo se inicia (geralmente o local onde começa a separação das duas faixas de rodagem) e no caso das vias de aceleração, estas iniciam-se no ponto em que o traço branco esquerdo do ramo termina (geralmente o local onde acaba a separação das faixas de rodagem). Ao estender o fim da via de abrandamento e ao adiantar a via de aceleração na clotóide, assegura-se ao mesmo tempo que os condutores ainda possam fazer as manobras de variação de velocidade nesses troços e encurtar a distância para a qual é realizado o alargamento da via a montante (via de abrandamento), ou o estreitamento da via a jusante (via de aceleração).

O esquema de cálculo dos pontos notáveis do *taper* difere se este for em reta ou em curva circular. Assim, é apresentado, no Anexo A.3.7, o esquema de cálculo usado no projeto para o cálculo das coordenadas dos pontos notáveis, em reta, de acordo com a figura 5.9. O ponto de partida A é calculado, neste caso, sabendo a coordenada do ponto osculação alinhamento reto/clotóide do ramo, a extensão da via auxiliar incluindo o *taper* (subtraindo a parte que se situa em clotóide do ramo) e a orientação do eixo da EP. A figura 5.9 está ilustrada para uma via de aceleração. Para perceber o desenho para uma via de abrandamento basta imaginar que a via abre do lado esquerdo e não do lado direito.

Se o *taper* for em curva circular, o esquema de cálculo, para o presente projeto, também é apresentado no Anexo A.3.8, de acordo com a figura 5.10.

6.7.2. RAMO A

Os dados necessários para conhecer a extensão da via auxiliar, incluindo a extensão do *taper*, são a velocidade específica do ramal, o raio mínimo da curva e a velocidade da estrada principal. Os dois primeiros estão relacionados. Assim, no quadro 6.35 apresentam-se os valores dos dados iniciais bem como o valor da extensão.

Quadro 6.35. - Extensão total da via de abrandamento do Ramo A incluindo o *taper*.

Raio mínimo da curva (m)	45,000
Velocidade específica do ramal (km/h)	40,0
Velocidade da estrada (km/h)	100,0
Extensão total (quadro 5.7.) (m)	110,000
Extensão do <i>taper</i> (quadro 5.7.) (m)	75,000
Fator multiplicativo (quadro 5.9.)	0,9
Extensão total corrigida (m)	99,000

Falta ainda saber a inclinação do trainel, de modo a aplicar o eventual fator corretivo. Assim, até ao ponto de osculação alinhamento reto/clotóide do ramo, segundo o perfil longitudinal da estrada principal, a via de abrandamento tem uma parte da extensão em trainel e outra em concordância convexa, de inclinação menos acentuada que a do trainel. Essa inclinação é calculada no ponto X_5 (figura 6.15) que corresponde ao PK 12+826,466 da estrada principal e é igual a 3,1911003%. Como a inclinação continua a ser maior que 3% em toda a sua extensão, segundo o quadro 5.7, o fator corretivo a aplicar é o apresentado no quadro 6.35, bem como a extensão final corrigida incluindo o *taper*.

Porém, a extensão da via de abrandamento obtida não será a utilizada. Isto deve-se ao facto de parte da extensão estar sobre a obra de arte, em que a Norma dos Nós de Ligação refere que a distância entre a estrutura e o nariz de saída deve ser igual à extensão do bisel, ou *taper*, da via de abrandamento mais, pelo menos 50,0 m, o que dá uma extensão mínima de 125,0 m. Esta regra leva a um aumento da área de expropriação e a uma redefinição da diretriz. Ao mesmo tempo convém evitar que a abertura da faixa de abrandamento se efetue na obra de arte devido à construção se tornar mais complexa. O autor, para minimizar este custo, mantém a obra de arte em alinhamento reto e efetua o alargamento para mais uma via a montante da estrutura. Deste modo, a transição para garantir a extensão do *taper*, teria de começar em clotóide. Sendo um processo mais complexo, o autor tentou simplificar a construção da via de abrandamento, decidindo que a abertura da via de abrandamento começa logo após acabar a

curva de transição da EP, alterando a extensão do *taper*. Assim, o *taper* passa a ter um valor de 48,040 m, que é aceitável. A extensão total da via de abrandamento toma o valor de 137,498 m, maior que a definida anteriormente. O autor garante, então, que o abrandamento possa ser feito em segurança através duma extensão extra de 38,498 m, maior que a extensão retirada ao *taper*. As coordenadas dos pontos notáveis que permitem a piquetagem do *taper* são as apresentadas no Anexo A.1.11, de acordo com o esquema de cálculo referido em 6.7.1 para alinhamento reto e exposto no Anexo A.3.7.

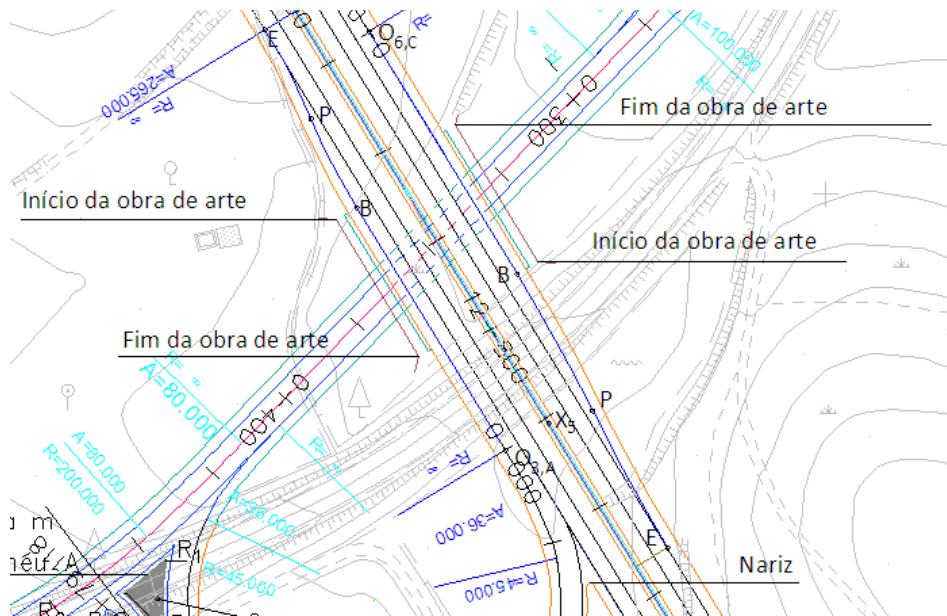


Figura 6.15. – Representação dos pontos notáveis na via de abrandamento do Ramo A (E → O_{3,A})

6.7.3. RAMO B

Para a cálculo da extensão da via de aceleração, os dados iniciais são a velocidade específica na última curva do ramo e a velocidade na estrada principal, apresentados no quadro 6.36. Através do quadro 5.8, obtém-se a extensão da via de aceleração incluindo o *taper* no caso da inclinação do trainel ser inferior a 3%. Sendo assim, de acordo com a rasante da EP, a estrada desenvolve-se em concordância convexa e o ponto mais desfavorável, ou seja, em que a inclinação será superior, é o ponto osculador final do ramo (ponto O'_{4,B}). A partir da equação 3.36, o valor dessa inclinação é inferior a 3%, o que significa que a extensão obtida é a definitiva, não sendo necessário aplicar fatores corretivos devido à inclinação do trainel. No quadro 6.36 apresentam-se esses valores.

Quadro 6.36. - Extensão total da via de aceleração do Ramo B incluindo o *taper*.

Raio mínimo da curva (m)	60,000
Velocidade específica do ramal (km/h)	45,0
Velocidade da estrada (km/h)	100,0
Extensão total (quadro 5.8.) (m)	185,000
Extensão do <i>taper</i> (quadro 5.8.) (m)	75,000
Fator multiplicativo (quadro 5.10)	1,000
Extensão total corrigida (m)	185,000

A partir da figura 5.9 e do esquema de cálculo apresentado no Anexo A.3.7 para o *taper* em alinhamento reto, consegue-se determinar as coordenadas dos pontos notáveis da via de aceleração e definir corretamente o *taper*, partindo do ponto $O'_{4,B}$ (figura 6.16). No Anexo A.1.12 apresentam-se essas coordenadas.

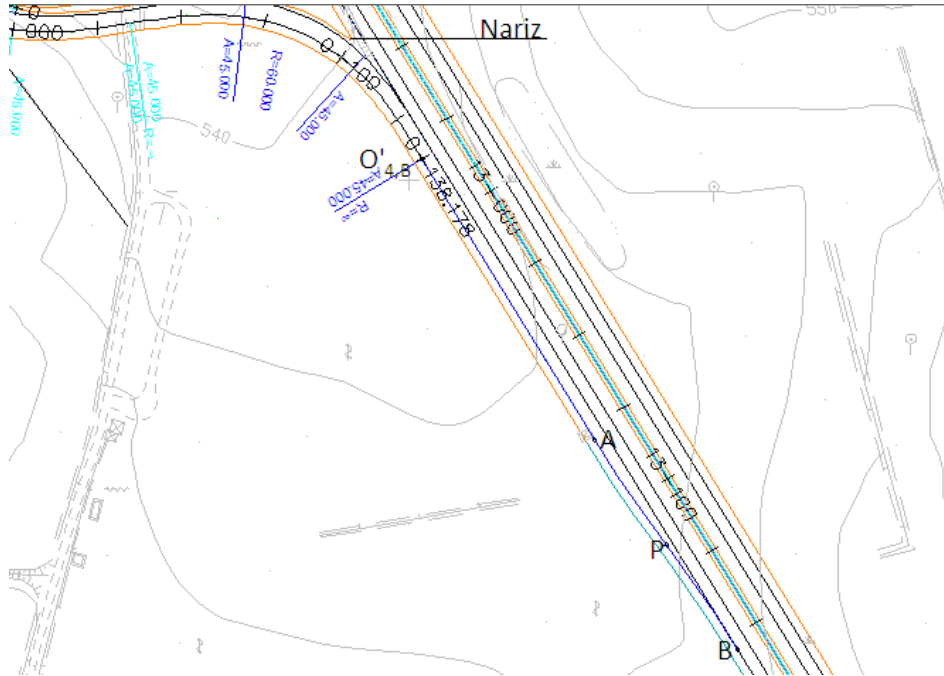


Figura 6.16. – Representação dos pontos notáveis da via de aceleração do Ramo B ($O'_{4,B} \rightarrow B$)

6.7.4. RAMO C

A via de abrandamento do Ramo C, à semelhança do Ramo A, também tem a mesma condicionante da localização da estrutura. Aplicando o mesmo conceito de colocar o *taper* a montante da estrutura, este é definido em toda a extensão pois a diretriz desenvolve-se em alinhamento reto, não trazendo dificuldades adicionais. Os dados iniciais e a extensão total incluindo o *taper* são apresentados no quadro 6.37.

Quadro 6.37. - Extensão total da via de abrandamento do Ramo C incluindo o *taper*.

Raio mínimo da curva (m)	45,000
Velocidade específica do ramal (km/h)	40,0
Velocidade da estrada (km/h)	100,0
Extensão total (quadro 5.7) (m)	110,000
Extensão do taper (quadro 5.7) (m)	75,000
Fator multiplicativo (quadro 5.9)	1,200
Extensão total corrigida (m)	132,000

A inclinação no ponto mais favorável, ou seja, de menor inclinação, é no início da via auxiliar. Esta vai-se acentuando até 3,5% à medida que se percorre a via de abrandamento. No início, a inclinação é maior que 2%, mas menor que 3%. Por segurança, o autor adota o fator corretivo para uma inclinação de 3% em declive, sendo a extensão total da via de abrandamento a apresentada no quadro 6.37. O *taper*, como no ramo A, é definido na sua totalidade antes de chegar à estrutura, como podemos observar pela figura 6.17. A extensão total da via de abrandamento é igual a 165,239 m, maior que a definida anteriormente. Deste modo, o autor garante, da mesma maneira que no Ramo A, que o abrandamento seja feito em segurança através duma extensão extra de 33,239 m. As coordenadas dos pontos notáveis que permitem a piquetagem do *taper* são as apresentadas no Anexo A1.13.

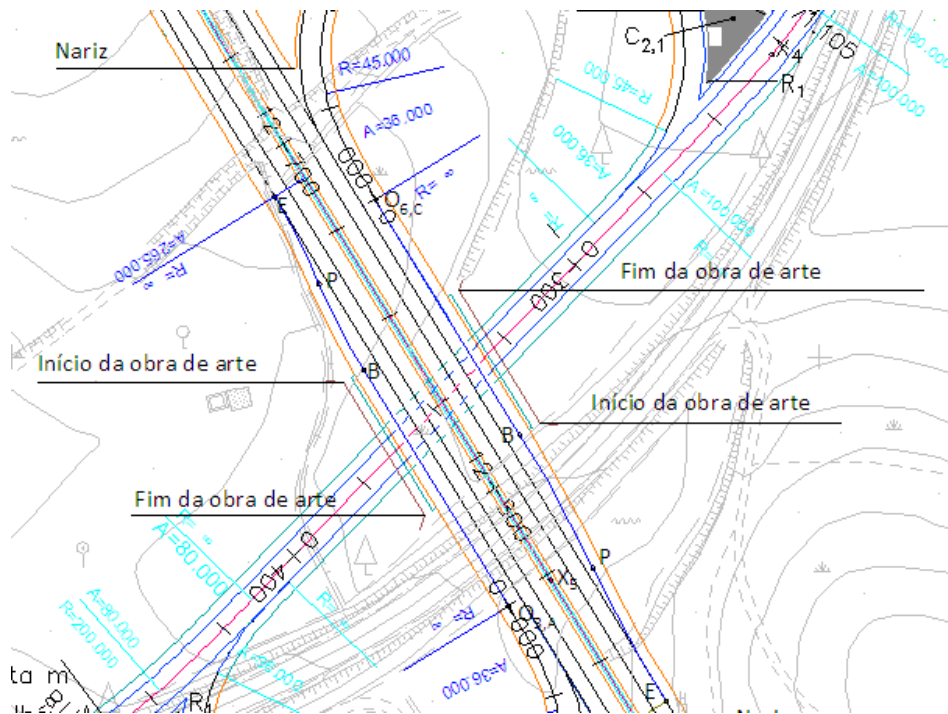


Figura 6.17. – Representação dos pontos notáveis da via de abrandamento do Ramo C (E → O_{6,C})

6.7.5. RAMO D

Esta é a única via de aceleração que se desenvolve em curva circular no projeto. Os dados iniciais são apresentados no quadro 6.38, bem como a extensão retirada do quadro 5.8. A via de aceleração deste ramo está em declive, com uma inclinação constante de 3,5%. Assim, pelo quadro 5.10, o fator corretivo a aplicar é o apresentado no quadro 6.38, contribuindo este para um encurtamento da via auxiliar pois o declive é favorável à aceleração dos veículos.

Quadro 6.38. - Extensão total da via de aceleração do Ramo D incluindo o taper.

Raio mínimo da curva (m)	60,000
Velocidade específica do ramal (km/h)	45,0
Velocidade da estrada (km/h)	100,0
Extensão total (quadro x) (m)	185,000
Extensão do taper (quadro x) (m)	75,000
Fator multiplicativo (quadro x) (m)	0,600
Extensão total corrigida (m)	111,000

A construção do taper, neste caso, é orientada pelo esquema de cálculo apresentado no Anexo A.3.8, para curva circular. Sabendo a orientação ($C_{EP}P_{EP}$), a distância ao ponto A e o raio da curva circular da EP, determina-se a orientação ($C_{EP}A$). Esta orientação é a mesma para calcular o centro C_A . A partir da orientação anterior e rodando $\alpha/2$ para a direita obtém-se o valor da orientação ($C_{EP}P$). Voltando à orientação ($C_{EP}A$) rodando α novamente para a direita, calcula-se a orientação ($C_{EP}B$) que é igual à ($C_{EP}C_B$). Os valores destes dados e das coordenadas dos pontos notáveis do taper são apresentados no Anexo A.1.14. Na figura 6.18 apresenta-se uma representação da via de aceleração em curva circular.

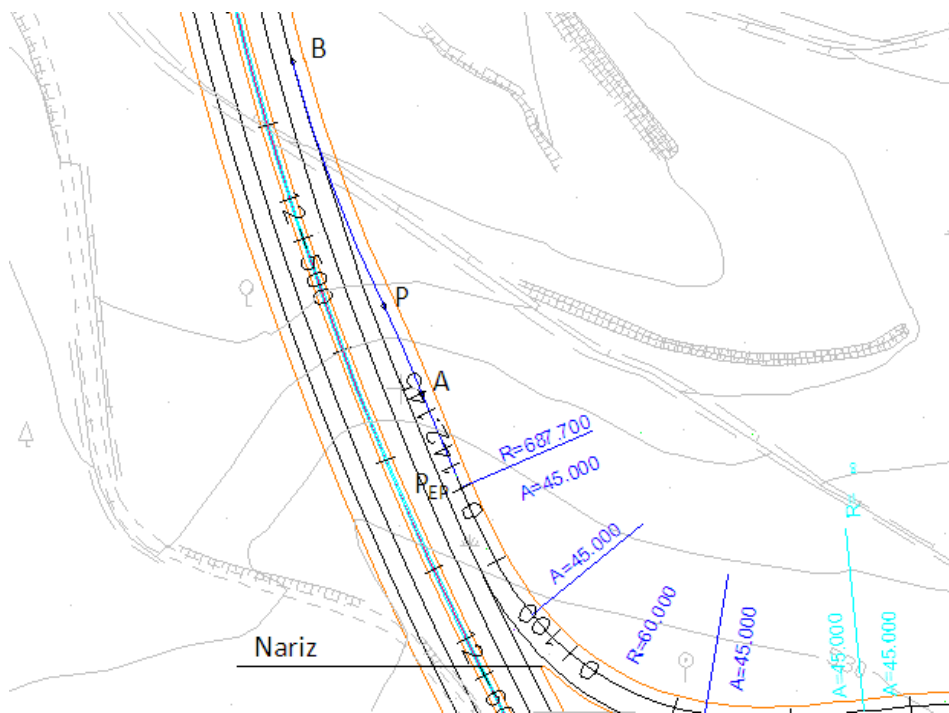


Figura 6.18. – Representação dos pontos notáveis da via de aceleração do Ramo D ($P_{EP} \rightarrow B$)

Neste ponto, as diretrizes de todos os elementos que constituem o nó estão definidas. É apresentado, no desenho nº 3 das Peças Desenhadas, a planta geral do Nó de Ligação.

6.8. PERFIL LONGITUDINAL

6.8.1. GENERALIDADES

Sendo o perfil longitudinal da estrada principal um dado inicial do projeto, o único perfil a modificar será o da estrada secundária. No subcapítulo 6.4.2, a definição do respetivo perfil ficou em *standby* devido à falta, até ao momento, da diretriz dos ramos de ligação e, conseqüentemente, das intersecções que dão acesso à estrada secundária. Por isso, o próximo passo será fixar de forma definitiva a nova rasante da estrada secundária. Estando esta etapa completa, pode-se continuar para a definição do perfil longitudinal dos ramos de ligação. Para a definição do terreno, as cotas correspondem a elementos singulares do terreno que intersectam o eixo, como por exemplo curvas de nível, taludes, muros de suporte e caminhos. Como entre curvas de nível a variação do terreno é suposta linear, as cotas podem ser ligadas linearmente. A realização e estudo do perfil longitudinal têm como base o subcapítulo 3.4. Uma das regras da realização da rasante é tentar que esta acompanhe o melhor possível o terreno, de maneira a evitar elevados movimentos de terra e grande impacte ambiental e visual. Porém, nos ramos de ligação, esta condição é difícil de garantir, visto que as extensões dos ramos são reduzidas em comparação com a Plena Via e os desníveis a vencer são, na maior parte das vezes, consideráveis.

Além desta condicionante de difícil cumprimento, a zona de tangência entre a estrada principal e o ramo de ligação ou, neste caso, ainda entre a estrada secundária e o ramo de ligação deve ser estudada cuidadosamente pois, muitas vezes, existem cotas fixas a respeitar, como por exemplo as iniciais e as finais. O perfil deve ser definido de maneira a não originar quebras de perfil, principalmente nos troços de transição, divergência e convergência, bem como assegurar a continuidade da sobrelevação nestes elementos da diretriz.

O perfil dos ramos não pode ser definido como um elemento isolado devido, então, às cotas fixas a respeitar e à diferença máxima de sobrelevações a garantir, de maneira a não condicionar a segurança de circulação, pois o troço entre o ramo de ligação e a estrada principal, antes da zona do nariz, é partilhado. O método usado para ultrapassar esta condicionante é determinar uma concordância no início ou final do ramo, dependendo da situação, que garanta a passagem da rasante em pontos de cota fixa, resultantes das cotas da estrada principal, da sobrelevação da estrada principal e da definida para o ramo em questão, e de cumprir a diferença algébrica máxima e a variação da sobrelevação por metro. A seguir é apresentado um esquema elucidativo (figura 6.19) do cálculo dessa concordância, neste caso, convexa, conhecidas pelo menos três cotas, correspondentes à origem do ramo (ponto $O_{i,j}$ em planta), um ponto intermédio onde se junta o traço branco direito do bordo da faixa de rodagem da estrada principal e o traço branco esquerdo do ramo de ligação, e um ponto que passa pela zona do nariz. Assim, denominando por ordem de apresentação os pontos descritos por 1, 2 e 3, as suas cotas calculam-se sabendo a cota ao eixo da estrada principal nesse quilómetro, a largura das vias e do ramo nesse ponto e a inclinação transversal da faixa de rodagem, bem como a sobrelevação no ramo. O objetivo é, então, calcular o raio vertical da concordância e a distância a que se encontra o ponto de tangência do ponto $O_{i,j}$. Sabendo que o desnível (Z_i) entre a cota calculada ao longo do trainel de inclinação conhecida e constante, e a cota em concordância para o mesmo ponto, as únicas incógnitas do sistema, pelas equações 6.50 e 6.51, são a distância x e o raio vertical (R_v). A escolha da solução passa pelos valores calculados respeitarem sempre os mínimos admissíveis.

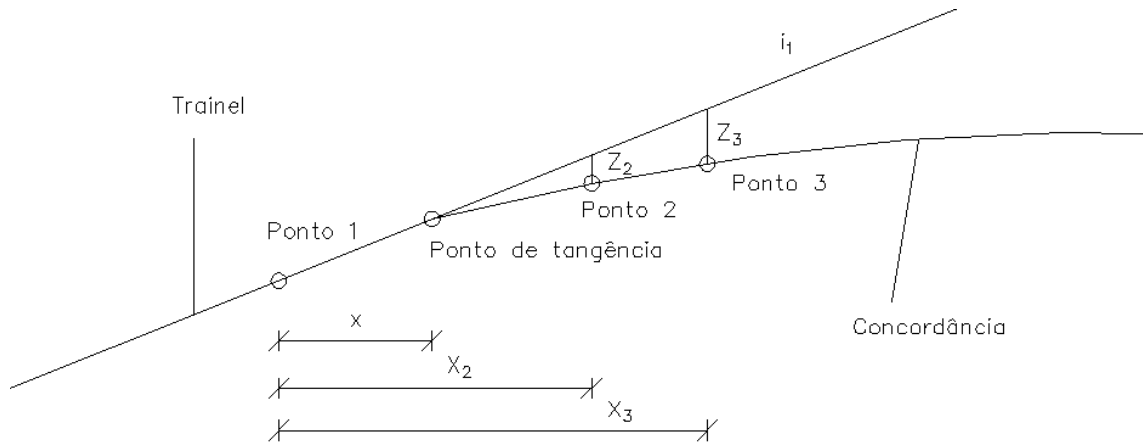


Figura 6.19. - Esquema geral de cálculo da concordância conhecidos 3 pontos de cota fixa.

$$Z_2 = \frac{(X_2 - x)^2}{2 \times R_v} \quad (6.50)$$

$$Z_3 = \frac{(X_3 - x)^2}{2 \times R_v} \quad (6.51)$$

Tanto o perfil longitudinal do terreno como a rasante serão definidos de 25 em 25 m, pelo mesmo eixo apresentado na diretriz.

6.8.2. ESTRADA SECUNDÁRIA

Depois de analisado o primeiro condicionante a ultrapassar, isto é, de garantir um *gabarit* mínimo de 5,0 m na zona de intersecção da estrada principal com a estrada secundária, a Norma limita o valor da inclinação longitudinal a 4,0% nas zonas de intersecções. Porém, como já estudado no perfil longitudinal aproximado da ES, para a escolha da diretriz, o desnível a vencer após a passagem inferior até chegar a valores de cotas da ordem de grandeza da estrada secundária, mais a jusante, é bastante significativo. De referir que a solução apresentada não foi obtida à primeira tentativa, tendo o autor tentado definir todos os elementos de maneira a obter o melhor perfil. Este caminho envolveu um processo iterativo e de análise crítica dos elementos que foi necessário modificar.

Partindo do início, de maneira a não haver quebras de perfil e estando já definido o início da diretriz no ponto de cota 532,0, bem como o seu eixo, que segue o eixo da estrada de onde diverge pelo menos nos primeiros metros de alinhamento reto, para conhecer a variação da inclinação a jusante do ponto I (PK 0+000), é feito um levantamento das cotas do eixo da estrada secundária na planta topográfica. Sendo esta variação relativamente constante, o autor decidiu que a inclinação a adotar para o primeiro trainel é aquela dada pelo quociente entre a diferença das duas primeiras cotas e a distância entre elas. A segunda cota, no sentido dos quilómetros crescentes da estrada, tem o valor de 532,2 m, a uma distância de 33,792 m da primeira. A inclinação inicial obtida tem o valor de 0,5918577%, maior que o mínimo regulamentado. A inclinação do troço final também pode ser já definida pois, pelo mesmo motivo que a inclinação inicial, tem de concordar com a rasante original. Assim sendo, a diretriz termina no ponto de cota 558,0 m, ao PK 0+732,455 m. Para calcular a inclinação final vai-se buscar a

cota anterior pertencente à rasante da estrada original, sendo esta 557,6 m. O quociente da diferença entre estas duas cotas e a distância entre elas dá o valor da inclinação final. A cota anterior situa-se no PK 0+725,829, o que resulta numa inclinação de 6,0367761%.

Com base nas inclinações obtidas pela rasante aproximada estudada, é necessário reduzir o valor das inclinações na zona das intersecções, já definida. Assim, de maneira a respeitar a inclinação máxima de 4,0%, são definidos no perfil longitudinal o início, um ponto intermédio e o final da intersecção 1 e 2. A intersecção 1 começa no PK 0+161,237, em curva circular e termina em alinhamento reto no PK 0+289,006. Para uma melhor visualização, é também definido um ponto intermédio correspondente ao quilómetro em que o eixo do Ramo C+D cruza com a estrada secundária (PK 0+215,932). Quanto à intersecção 2, esta tem início no PK 0+405,582 em alinhamento reto. O eixo do Ramo A+B cruza a estrada secundária no PK 0+465,423 e a intersecção termina no PK 0+506,643.

Na zona da intersecção, o autor procura garantir, ao mesmo tempo, uma inclinação máxima de 4,0%, que o ponto baixo em escavação previsto para aquela zona se situe fora e antes da passagem inferior para uma maior facilidade no escoamento, e que haja concordância planta/perfil como recomendado pela Norma. Ainda assim, é necessário tentar compatibilizar uma inclinação máxima de 4,0% na zona da intersecção 2 e vencer o desnível existente sem exceder a inclinação máxima permitida.

Antes de passar às tentativas, o desenvolvimento mínimo que irá concordar o último trainel com o penúltimo toma o valor de 60,0 m, o que dá uma localização do vértice da concordância a 30,0 m do final do troço. Deste modo, a primeira abordagem foi calcular qual seria a inclinação do penúltimo trainel, se a concordância côncava que o ligava ao trainel de 4,0% se se inicia imediatamente após o último ponto da intersecção 2, com um desenvolvimento mínimo de 60,0. A inclinação longitudinal resultante seria aproximadamente de 12,5%, o que é inviável. A próxima tentativa passou por definir o vértice da concordância no PK 0+506,643, com um desenvolvimento mínimo de 60,0 m de forma à concordância não se estender na intersecção. Mesmo assim, a inclinação do penúltimo trainel dava cerca de 11,5%. O autor decidiu, então, que seria preciso exceder o limite recomendado pelas Normas do Traçado e aumentou a inclinação de 4,0% para 4,5% na zona da intersecção 2, mantendo o vértice da concordância no PK 0+506,643. Mesmo assim, o valor da inclinação resultante ainda estava acima do valor limite (9,5% em terreno acidentado com extensão máxima do trainel de 300,0 m).

Consultando o quadro 3.8 no sentido de limitar a velocidade naquele troço a 40 km/h para poder ter desenvolvimentos mínimos inferiores a 60,0, verifica-se que não resultou, pois a Norma do Traçado recomenda o valor de 60,0 m de desenvolvimento mínimo para velocidades de 40 km/h, no caso de desenvolvimentos normais. Quanto aos desenvolvimentos absolutos, a Norma do Traçado só os aceita se aplicados em estradas com faixas de rodagem unidireccionais, o que não é o caso. Sendo assim, o autor decidiu aumentar a extensão do troço para um total de 800,000 m, embora não tenha dados precisos da evolução do terreno a partir dos 759,404 m.

Esta decisão tem fundamento nas cotas ao eixo da rasante da estrada original, representadas pelo perfil do terreno. Ou seja, a diretriz do troço novo está sobreposta à diretriz da estrada original mais ou menos a partir do PK 0+500,000 e, observando o perfil do terreno constata-se que a rasante da estrada original tem aproximadamente uma inclinação longitudinal constante até ao km 0+759,404. Observando também o terreno envolvente, verifica-se que as curvas de nível do terreno na parte final da estrada secundária são uniformes e demonstram um aumento constante da elevação do terreno. O autor ainda procurou perceber como se desenvolvia o terreno no lugar onde nem existem dados sobre a ocu-

pação, nem sobre a superfície do solo²³, constatando que a estrada continua em alinhamento reto e o terreno sobe até valores de cotas da ordem dos 600,0 m²⁴.

A continuação da definição da diretriz da estrada secundária até ao PK 0+800,000, de 25 em 25 m, apresenta-se no Anexo A.1.15.

Assim, com este novo dado, aumentando a extensão da diretriz final para 800,000 m, a inclinação do penúltimo trainel é obrigada a diminuir de valor. A inclinação final do terreno é calculada tendo em conta as duas últimas cotas disponibilizadas e a distância entre elas. A inclinação a que se chega tem o valor de 5,4537065%. Esta inclinação é admitida constante até ao PK 0+800,000, como justificado anteriormente. Mais uma vez, o desenvolvimento da concordância que liga o último trainel ao penúltimo tem o valor de 60,0 m, colocando-se o seu vértice no PK 0+770,000 m.

Mantendo o vértice da concordância côncava no último ponto da intersecção 2 e voltando ao trainel com 4,0%, a inclinação resultante tem o valor um pouco maior que 9,5%. Tentando mais uma vez, mas agora com a inclinação do trainel na intersecção 2 de 4,5%, o valor da inclinação desce para aproximadamente 9,25%. Assim, perante as condicionantes impostas e o desnível a vencer, o autor opta por exceder em meio por cento o limite da inclinação na zona de intersecção, conseguindo uma inclinação que respeitasse a Norma. Além de que, com o vértice no último ponto da concordância e a inclinação de 4,0%, a variação da inclinação de 4,0 a 9,5% seria superior à variação de 4,5 a 9,25%, para a mesma distância. Como descrito inicialmente, a localização do projeto é caracterizada por se inserir numa zona montanhosa. Deste modo, a Norma do Traçado permite a adição de 2,0% à inclinação máxima permitida, se o trainel for inferior a 300,000 m, resultando numa inclinação máxima permitida de 9,5%.

Paralelamente a esta definição do penúltimo trainel, será necessário garantir que a concordância que liga o trainel de 4,5% ao segundo trainel de -4,0% respeite o valor do raio vertical mínimo de -1200,000 m. Assim, a solução que o autor encontrou foi adicionar um trainel com o mesmo sinal que o de -4,0%, mas com uma inclinação inferior de maneira a poder aumentar o valor do raio sem fazer elevar a rasante em termos de cotas, devido ao *gabarit* a assegurar. Assim, e de maneira a reforçar a escolha pela solução do trainel da intersecção 2, com 4,5% e, ao mesmo tempo garantir a concordância planta/perfil, a inclinação desse trainel intermédio tem o valor de -1,4338321%, garantindo um raio vertical superior a -1200,000 m, com uma concordância de desenvolvimento de 72,000 m. Ao definir esta concordância com a inclinação de -4,0% na intersecção 1, o raio vertical vinha inferior a -1200,000 m, sendo preciso aumentar o desenvolvimento da concordância para garantir esse mínimo, o que estendia a concordância talvez a toda a passagem inferior.

Assim, no quadro 6.39 são apresentadas as cotas dos pontos notáveis da rasante da estrada secundária. O perfil longitudinal final é apresentado na secção das Peças Desenhadas – desenho nº 4.

²³ Pesquisa efetuada através do software Google Maps 2012 disponibilizado pela Google Inc..

²⁴ O procedimento correto seria fazer um levantamento topográfico da zona em falta para uma melhor análise.

Quadro 6.39. - Cotas dos pontos notáveis do perfil longitudinal da estrada secundária.

PK	Ponto	Elemento				Cota (m)
		Trainel		Concordância		
		L (m)	i (%)	R_v (m)	D (m)	
0+000,000	I					532,000
0+066,961	T_1	66,961	0,5918577			532,396
0+136,961	T'_1			1524,437	70,000	531,203
0+161,237	Início Intersecção 1	66,625	-4,0000000			530,232
0+203,586	T_2					528,538
0+215,932	Cruzamento com Ramo C+D			-2532,960	65,000	528,075
0+268,586	T'_2					526,772
0+268,586	T_3	0,000	-1,4338321			526,772
0+289,006	Fim Intersecção 1					526,652
0+330,979	Início Obra Arte			-1213,381	72,000	527,482
0+340,586	T'_3					527,876
0+347,294	1/2 Obra Arte					528,178
0+363,609	Fim Obra Arte					528,912
0+405,582	Início Intersecção 2	136,057	4,5000000			530,801
0+465,423	Cruzamento com Ramo A+B					533,494
0+476,643	T_4					535,707
0+506,643	Fim Intersecção 2			-1256,281	60,000	533,999
0+536,643	T'_4					538,132
0+740,000	T_5	203,357	9,2760000			556,995
0+800,000	T'_5 e F	-	5,4537065	1569,738	60,000	561,414

Em relação à coordenação planta/perfil, o autor procurou coincidir as curvas em planta com as curvas em perfil. Isto foi conseguido para a primeira curva composta horizontal, embora as bissetrizes das curvas em planta e perfil não coincidam. Na segunda curva composta, já não foi possível assegurar a coincidência da curva em planta com a curva em perfil, devido ao limite de inclinação em 4,0% nas zonas de intersecções e o grande desnível a vencer. Segundo a figura 3.12, é possível esta solução provocar uma aparente quebra do traçado e um estreitamento ótico da estrada, embora o exemplo ilustrado na figura 3.12 seja para uma concordância côncava em que as inclinações são de sinal contrário. No nosso caso, as inclinações têm o mesmo sinal. Dos restantes casos típicos apresentados, este projeto não vai de encontro a não respeitar mais nenhum.

6.8.3. RAMO A

O início do Ramo A tem lugar no ponto $O_{3,A}$ e tem uma extensão de 116,440 m. Esta extensão é calculada sabendo o desenvolvimento d entre a orientação azimutal $\overrightarrow{C_{3,A}P_{3,A}}$ e $\overrightarrow{C_3P'_{3,B}}$ traduzida pelo ângulo δ , através da equação 6.52. A esse valor basta adicionar o desenvolvimento total da primeira curva de transição. O passo seguinte será a definição do perfil longitudinal do terreno. Este levantamento das cotas do terreno é feito pelo eixo, tentando definir o terreno com a melhor precisão.

$$d = R_{3,A} \times \delta_{rad}. \quad (6.52)$$

Definido o perfil longitudinal do terreno, passa-se para a definição da rasante. A cota inicial do Ramo A é de fácil determinação, pois é calculada ao bordo da faixa de rodagem em função da cota ao eixo da estrada principal, no ponto $O_{3,A}$, e da sobrelevação existente naquela zona na diretriz da EP. A expressão que permite calcular a cota no ponto inicial do ramo apresenta-se na equação 6.53. A cota ao eixo na estrada principal é calculada de acordo com o respetivo perfil longitudinal, sabendo um ponto de cota conhecida (ponto de tangência a seguir ao trainel de 3,5%), a inclinação do trainel que antecede o ponto de tangência e os elementos que permitem caracterizar a concordância convexa. A sobrelevação existente na estrada principal é a característica de um perfil em duas águas, com -2,5%.

$$H_{O_{3,A}} = H_{ao\ eixo,EP} \pm i_{transversal} \times l_{faixa\ rodagem} \quad (6.53.)$$

Para o cálculo da concordância recorre-se ao método apresentado no início deste subcapítulo. A figura 6.19 ilustra bem o método para este ramo. A inclinação que antecede a concordância é a mesma do perfil longitudinal da estrada principal. Neste caso, o perfil da estrada principal já se encontra em concordância, logo para não haver perda de continuidade, a inclinação que antecede a concordância é a que se obtém ao passar uma reta tangente naquele ponto, ou seja, calculada a partir da equação 3.36 em ordem a i ($i=3,1911003\%$). No quadro 6.40 apresentam-se os valores necessários para o cálculo da distância x e de R_v . A sobrelevação definida pelo autor no início da curva circular do Ramo A é de 4,0%, resultando numa diferença algébrica de 1,5%, menor que o limite de 5%, na zona do nariz. A variação da sobrelevação de 2,5% a 4,0% é linear, sendo a sua variação de 20 em 20 m de 1,7361111%, inferior ao limite apresentado no quadro 4.8. No Anexo A.2.3, apresenta-se um quadro com o cálculo das cotas ao eixo no Ramo A para os pontos 1, 2 e 3.

Quadro 6.40. - Dados necessários para o cálculo da concordância inicial do Ramo A.

Ponto	Distância ao ponto 1 (m)	Cota no trainel (m)	Z_i (m)
1	0,000	537,099	0,000
2	21,061	537,771	0,079
3	33,366	538,164	0,213

O valor de x é igual a 1,799 m e o R_v igual a 2343,226 m. Para concluir a definição da primeira concordância falta dar um valor ao desenvolvimento da concordância ou definir uma inclinação para o

segundo trainel. O autor escolhe definir que o desenvolvimento da concordância seja de 40,0 m, resultando um segundo trainel com inclinação igual a 1,4840521%.

A definição do último trainel do ramo A precisa duma atenção mais cuidada, pois será necessário garantir que a inclinação definida seja igual no início do ramo A+B com o mesmo sinal e no início do Ramo B, mas de sinal contrário, de maneira a não perder a continuidade do perfil. Após várias tentativas em compatibilizar uma inclinação suave de sinal contrário às anteriores para o final do ramo A, de forma que o ramo A+B também tivesse um trainel inicial mais suave, não foi possível viabilizar nenhuma solução, pois a cota final do Ramo A+B está a uma profundidade considerável e a inclinação do último trainel do Ramo A+B não permite definir nenhuma concordância ao longo da extensão do ramo. Assim, a inclinação do último trainel do Ramo A é determinada tendo o autor definido primeiro o perfil longitudinal do Ramo A+B. Pode-se já adiantar que o primeiro trainel do Ramo A+B tem uma inclinação de -3,9994925%, logo o último trainel do Ramo A também terá uma inclinação de -3,9994025%. Estando definidos todos os traneis, o vértice da segunda concordância fica determinado graficamente pela intersecção dos dois últimos traneis. O autor, de maneira a não haver nenhum trainel de extensão diminuta entre as concordâncias, já devido à extensão reduzida dos ramos de ligação, e de forma a simplificar o processo construtivo, define o desenvolvimento da concordância, sendo este, em projecção horizontal, o dobro da distância que vai desde o ponto de tangência final da primeira concordância (T'_1) até ao vértice V_2 . Através da equação 3.24, calcula-se o valor do raio apresentado no quadro 6.41, superior ao mínimo. A definição da rasante, de 25 em 25 metros apresenta-se no Desenho nº 5 – Peças Desenhadas

Quadro 6.41. - Cotas dos pontos notáveis da rasante do Ramo A.

PK	Ponto	Elemento				Cota (m)
		Trainel		Concordância		
		L (m)	i (%)	R_v (m)	D (m)	
0+000,000	$O_{3,A}$					537,099
0+001,799	T_1	1,799	3,1911003			537,157
0+041,799	T'_1			2343,226	40,000	538,092
0+041,799	T_2	0,000	1,4840521			538,092
0+097,328	T'_2			1012,164	55,502	537,394
0+116,440	F	19,139	3,9994025			536,628

6.8.4. RAMO A+B

A rasante do ramo A+B é definida ao eixo do ramo bidirecional e tem uma extensão de 79,118 m. A cota do primeiro ponto da rasante tem de ser a mesma que a última cota da rasante do Ramo A, neste caso, calculada ao eixo do ramo bidirecional e não ao eixo do Ramo A. Como referido anteriormente, o último trainel do Ramo A foi definido à custa da definição primária do Ramo A+B. Assim, como as tentativas de uma inclinação mais suave no início do ramo não deram resultado, a próxima inclinação mais favorável é a inclinação final do ramo A+B de -3,9994025%, correspondente à linha de maior declive do pavimento entre a inclinação do trainel e a sobrelevação existente, pois o alinhamento recto que intersecta a estrada secundária não é exactamente ortogonal a esta. Na figura 6.20 ilustra-se o esquema de cálculo em que a inclinação da linha de maior declive é determinada pelo quociente entre

a diferença de cotas H_{fim} e H_{eixo} e a largura transversal D_{A+B} . Esta inclinação não se pode modificar e se fosse para definir alguma concordância neste ramo, teria de ser côncava, resultando numa inclinação inicial do ramo mais acentuada. O autor prefere não adotar nenhuma concordância e definir a rasante do ramo A+B apenas através de um trainel de inclinação -3,9994025%. Compatibilizando com o ramo A, chegou-se, como visto, a valores aceitáveis e superiores ao mínimo para o raio vertical. A cota final é calculada através do perfil longitudinal da ES. Sabendo o ponto à berma onde termina o ramo A+B e que a sobrelevação é constante e de 4,0%, pois estamos em curva circular, calcula-se a cota no quilómetro onde a recta y_{A+B} cruza ortogonalmente a ES. A cota final do ramo A+B corresponde à cota daquele quilómetro, calculada à berma da plataforma, à distância de 6,000 m com uma sobrelevação de 4%, a subir no sentido que caminhamos para o extradorso da curva circular da ES. Assim, no quadro 6.42 apresenta-se o valor das cotas dos pontos notáveis do ramo A+B. A definição da rasante, de 25 em 25 metros, apresenta-se no Desenho nº 7 – Peças Desenhadas.

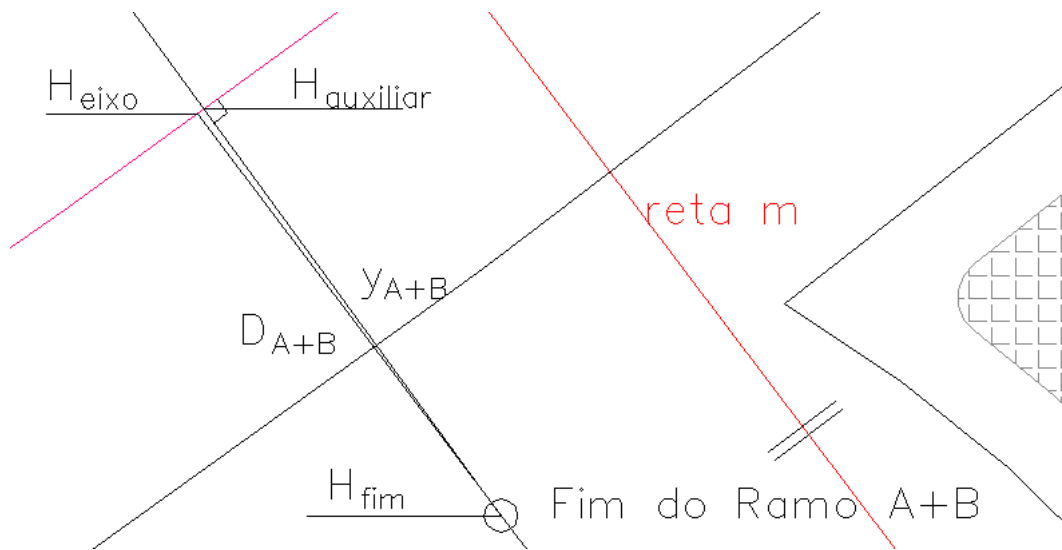


Figura 6.20. – Linha de maior declive no final do Ramo A+B.

Quadro 6.42. - Cotas dos pontos notáveis da rasante do Ramo A+B.

PK	Ponto	Elemento				Cota (m)
		Trainel		Concordância		
		L (m)	i (%)	Rv (m)	D (m)	
0+000,000	I					536,898
0+079,118	F	79,118	-3,9994025			533,734

6.8.5. RAMO B

A rasante do Ramo B terá um trainel inicial já definido, com inclinação igual ao trainel final do Ramo A e igual ao trainel inicial do Ramo A+B, mas de sinal contrário, pois o sentido dos quilómetros crescentes também é inverso. Assim, o seu valor é de 3,9994025%. A cota da rasante inicial também é possível calcular. Definida a sobrelevação no início do ramo bidirecional de 4,0%, pois é a mesma que vai do eixo do Ramo A+B para o eixo do Ramo A, a cota é calculada em função dessa sobrelevação e da distância transversal até ao bordo direito do Ramo B. Outro trainel que pode ser já definido é

o último, pois terá que concordar com a estrada principal de maneira a não criar nenhuma quebra de perfil. Mais uma vez, devido à imposição de sobrelevações na zona do nariz, de maneira a não criar essas quebras entre o ramo e a EP e às cotas fixas da estrada principal, é definida uma concordância no final do ramo B. Esta concordância é calculada com base no esquema descrito inicialmente e ilustrado na figura 6.21 para este caso. A sobrelevação no final do ramo B será a mesma que na estrada principal, sendo o seu valor constante em toda a extensão da última curva de transição e da curva circular, resultando numa diferença de sobrelevações nula. A obtenção do valor de x e do R_v da última concordância é calculado por um processo idêntico ao descrito para o Ramo A, apresentando os dados para esse cálculo no quadro 6.43. As cotas ao eixo no Ramo B, nos pontos 1, 2 e 3, apresentam-se no Anexo A.2.4.

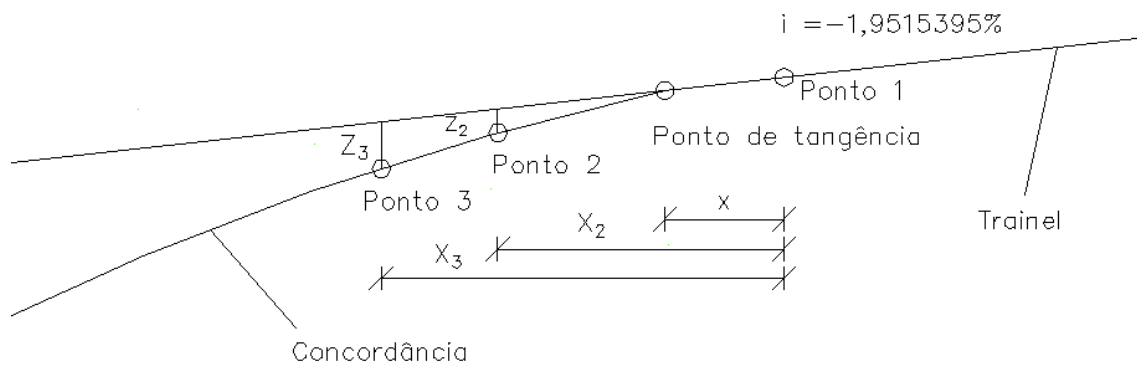


Figura 6.21. - Esquema de cálculo da concordância final do Ramo B.

Quadro 6.43. - Dados necessários para o cálculo da concordância final do Ramo B.

Ponto	Distância ao ponto 1 (m)	Cota no trainel (m)	Z_i (m)
1	0,000	541,083	0,000
2	12,500	540,839	0,013
3	37,281	540,356	0,201

A rasante do Ramo B concorda com a EP em concordância convexa, logo será necessário calcular a inclinação tangente à rasante no ponto $O'_{4,B}$, que corresponde ao PK 12+981,412 da EP. Esta inclinação calcula-se através da equação 3.36 em ordem a i e tem o valor de 1,9515395%. Os valores de x e R_v a que se chegou foram, respetivamente, 4,210 m e 2719,876 m. Definindo o desenvolvimento da concordância, obtém-se, a partir da equação 3.24, o valor da inclinação do penúltimo trainel. De forma a ligar ao primeiro trainel será necessário definir um outro trainel com uma inclinação mais suave e com o mesmo sinal. Pela mesma ordem de ideias que no Ramo A, os desenvolvimentos das concordâncias são definidos tendo em conta a inexistência de trainel entre elas, sendo o final de um ponto de tangência o início do ponto de tangência da próxima concordância. Assim, no quadro 6.44 apresentam-se os valores que definem a rasante do ramo B, cumprindo sempre os raios mínimos admissíveis. A definição da rasante, de 25 em 25 metros, apresenta-se no Desenho nº 6 – Peças Desenhadas.

Quadro 6.44. - Cotas dos pontos notáveis da rasante do Ramo B.

PK	Ponto	Elemento				Cota (m)
		Trainel		Concordância		
		L (m)	i (%)	Rv (m)	D (m)	
0+000,000	I					537.158
0+034,764	T ₁	34,764	3.9994025			538.549
0+064,650	T' ₁			1056.844	29.886	539.321
0+064.650	T ₂	0,000	1,1715294			539.321
0+099.650	T' ₂			-1693.412	35.000	540.093
0+099,650	T ₃	0,000	3,2383630			540.093
0+134.650	T' ₃			2719.876	35.000	541.001
0+138.860	F	4,210	1,9515395			541.083

6.8.6. RAMO C

O ramo C, definido de igual modo que o Ramo A, é constituído por uma curva de transição inicial e uma curva circular. A sua extensão é de 118,178 m e vai até ao início do ramo bidirecional C+D. A extensão d da curva circular é calculada (equação 6.52) sabendo o raio do *loop* e a diferença de orientações (δ_C) entre $\vec{C_6P_{6,C}}$ e $\vec{C_6P'_{6,D}}$. A extensão total é o d adicionado do desenvolvimento da clotóide de entrada no ramo.

A definição inicial da rasante do ramo C é idêntica à do Ramo A, partindo da definição de uma concordância que passe pelos pontos de cota fixa, devido às sobrelevações impostas no ramo C e os pontos de cota fixa da EP. Os valores de cota conhecida do bordo direito do ramo C são apresentados no Anexo A.2.5. À semelhança da sobrelevação definida para a curva circular do ramo A, o valor da sobrelevação do Ramo C toma o valor de 4,0% com variação linear do Ponto O₆ até ao P_{6,C}. A inclinação do trainel da EP tangente ao ramo C é de 3,5%. No quadro 6.45 apresentam-se os valores dos dados necessários ao cálculo de x e R_v .

Quadro 6.45. - Dados necessários para o cálculo da concordância inicial do Ramo C.

Ponto	Distância ao ponto 1 (m)	Cota no trainel (m)	Z _i (m)
1	0,000	533,556	0,000
2	21,076	532,819	0,145
3	33,419	532,387	0,406

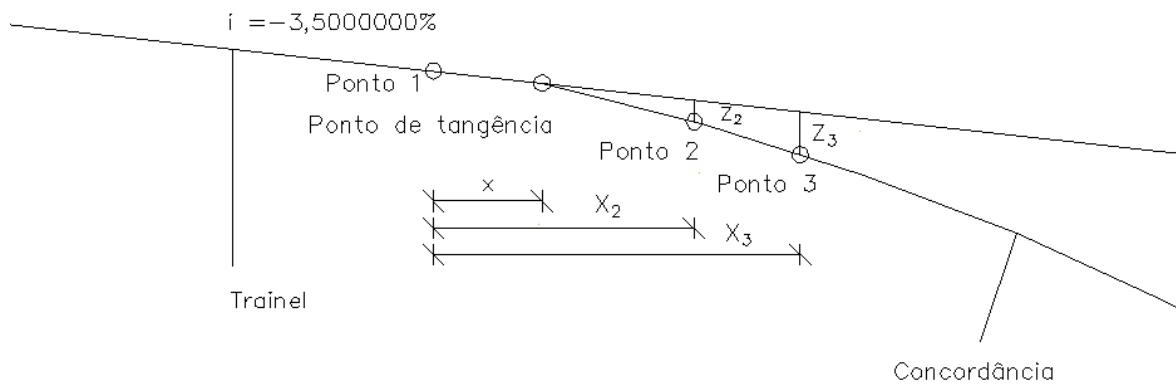


Figura 6.22. - Esquema de cálculo da concordância inicial do Ramo C.

Assim, e de acordo com a figura 6.22, o valor de x e de R_v é, respectivamente, 2,788 m e 1156,092 m. Definindo um desenvolvimento de 40,0 m para a primeira concordância, a inclinação do segundo tranel, pela equação 3.24, tem o valor de -6,9599312%. O terceiro e último tranel do ramo C é definido com o objetivo de suavizar o declive anterior e de poder ser compatível com o tranel final do Ramo C+D. Escolhendo uma inclinação de -4,0% para o último tranel e um desenvolvimento de 40,0 m, obtém-se um raio vertical de valor superior ao mínimo. Falta apenas saber se a inclinação deste tranel serve no Ramo C+D e D. A segunda concordância tem início precisamente no ponto de tangência final da primeira concordância, não existindo nenhum tranel de curta extensão entre as concordâncias. No quadro 6.46 são apresentados os pontos notáveis do perfil longitudinal do Ramo C e no Desenho nº 8 - Peças Desenhadas é definida a rasante, de 25 em 25 m.

Quadro 6.46. - Cotas dos pontos notáveis da rasante do Ramo C.

PK	Ponto	Elemento				
		Trainel		Concordância		Cota (m)
		L (m)	i (%)	R_v (m)	D (m)	
0+000,000	$O_{6,C}$					533,556
0+002,788	T_1	2,788	3,5000000			533,459
0+042,788	T'_1	0,000	-6,9599312	1156,092	40,000	531,367
0+042,788	T_2			-1351,383	40,000	531,367
0+082,788	T'_2	35,389	-4,0000000			529,175
0+118,178	F					527,759

6.8.7. RAMO C+D

O Ramo C+D tem uma extensão 71,165 m que vai até à berma da Estrada Secundária. De igual modo ao ramo A+B, o ramo C+D tem de passar numa cota fixa, sendo esta a cota final calculada a partir do perfil longitudinal da ES. Assim, o primeiro passo será calcular a cota ao eixo da ES correspondente ao ponto final do Ramo C+D. Observando a figura 6.23, a recta y_{C+D} é perpendicular à clotóide, sendo nesse cruzamento calculada a cota ao eixo. A cota à berma interior será em função da sobrelevação

nesse quilómetro da curva de transição e da largura transversal do eixo da estrada ao bordo da plataforma (largura da via mais sobrelargura e berma). A cota à berma tem o valor de 527, 830 m. O Ramo C+D também não intersecta a estrada secundária exatamente na ortogonal, logo é preciso calcular a inclinação correspondente à linha de maior declive do pavimento. Sabendo a cota do ponto final do Ramo C+D, a cota ao eixo no ponto em que o alinhamento reto do Ramo C+D intersecta a ES e a distância entre essas duas cotas (D_{C+D}), a inclinação obtida para a linha de maior declive é igual a 3,8169049%. Deste modo, a única solução será definir uma concordância côncava entre os dois traineis, sendo fundamental prestar especial cuidado, pois forma-se um ponto baixo em escavação. Logo, será necessário nesse ponto uma drenagem eficaz das águas que as transfira para o terreno natural num sítio em que se processe o escoamento natural. No quadro 6.47 apresentam-se as cotas dos pontos notáveis da rasante do Ramo C+D. No Desenho nº 10 - Peças Desenhadas é definida a rasante, de 25 em 25 m.

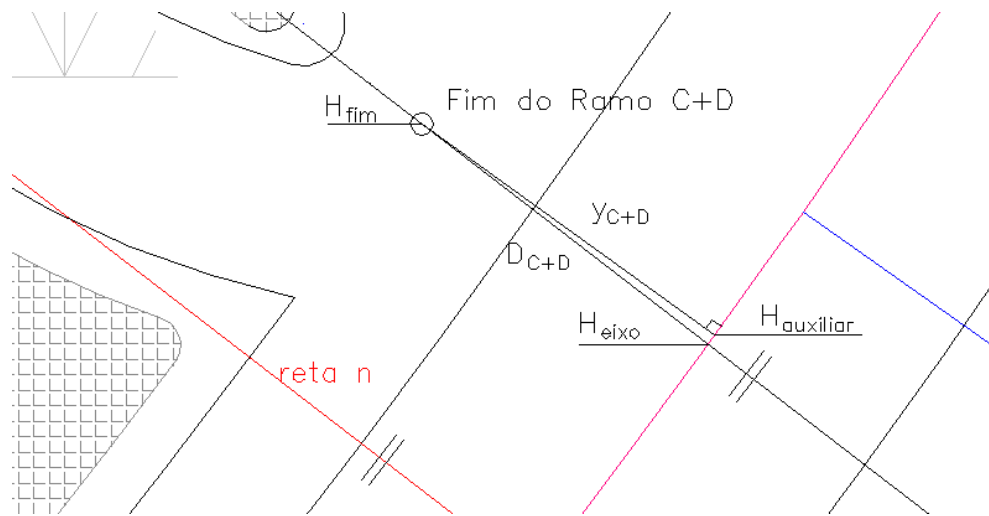


Figura 6.23. – Linha de maior declive no final do Ramo C+D.

Quadro 6.47 - Cotas dos pontos notáveis da rasante do Ramo C+D.

PK	Ponto	Elemento				Cota (m)
		Trainel		Concordância		
		L (m)	i (%)	R _v (m)	D (m)	
0+000,000	I					528,029
		3,438	-4,0000000			527,892
0+003,438	T1			-866,424	67,728	527,892
0+071,165	T'1 e F	0,000	3,8169049			527,830

6.8.8. RAMO D

No ramo D, à semelhança do descrito para o ramo B, a inclinação do trainel inicial terá a mesma inclinação que o trainel final do Ramo C e que o trainel inicial do Ramo C+D, mas de sentido inverso. Assim, a inclinação tem o valor de 4,0%. A extensão total do ramo é de 142,145 constituída por duas curvas de transição seguidas de uma curva circular e outra curva de transição a concordar com a curva circular da EP. Pelo mesmo processo definido no início, também aqui é possível determinar uma con-

cordância (figura 6.24) que passe nos pontos de cota fixa do bordo direito do ramo D, calculados a partir das cotas ao eixo da EP e das sobrelevações definidas de forma a não haver uma quebra excessiva entre o ramo de entrada e o EP (Anexo A.2.6).

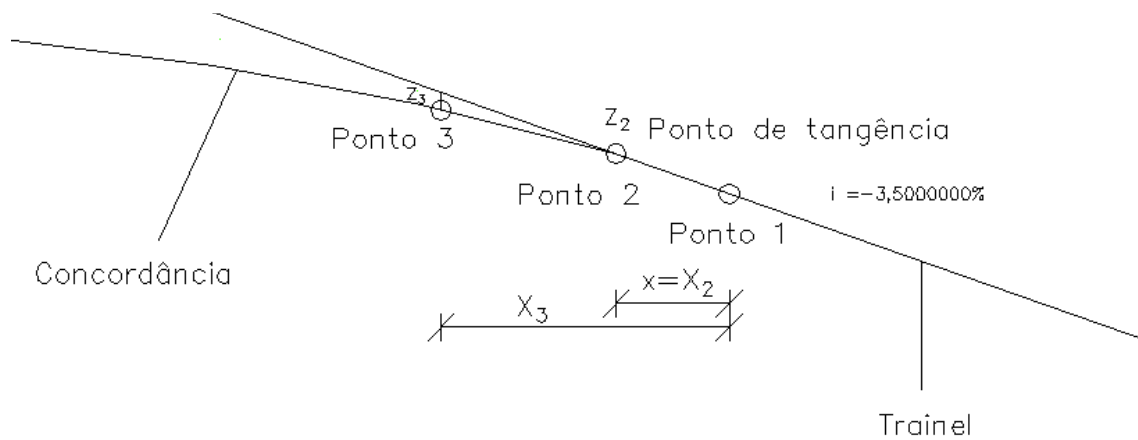


Figura 6.24. – Esquema de cálculo da concordância final do Ramo D.

Sendo a ligação das duas vias em curva circular, a estrada principal apresenta uma sobrelevação de 7%. Para a diferença algébrica não ser muito acentuada, o autor prevê uma sobrelevação na curva circular de entrada do Ramo D de 5%, que variará até 4%, mas de sinal contrário no início do Ramo D.

Quadro 6.48. - Dados necessários para o cálculo da concordância final do Ramo D.

Ponto	Distância ao ponto 1 (m)	Cota no trainel (m)	Z_i (m)
1	0,000	527,337	0,000
2	14,555	527,847	-0,032
3	37,264	528,642	0,131

No quadro 6.48 apresentam-se os valores necessários para o cálculo de x e R_v . Analisando o valor de Z_2 e de Z_3 , o primeiro é negativo e o segundo é positivo, o que quer dizer que o primeiro ponto fica a uma cota superior à cota do trainel e o segundo a uma cota inferior. Para definir uma concordância eram precisas duas concordâncias, uma côncava e outra convexa numa curta extensão, o que se traduz numa impossibilidade. Para tornar viável o sistema, o autor simplifica o cálculo ao definir que o valor de Z_2 é nulo, contribuindo apenas para a definição da concordância o valor de Z_3 , que por ser positivo, dá uma concordância convexa. Esta simplificação cria uma quebra no perfil. Porém, o seu valor é tão diminuto que o condutor praticamente não a sente. Outra consequência desta simplificação é o último ponto de tangência da última concordância ficar automaticamente definido à distância correspondente ao ponto 2. De referir que vindo a cota no ponto 2 mais baixa, a sobrelevação também vai alterar. No capítulo 6.9.6 será verificada essa sobrelevação.

Definindo um desenvolvimento para a última concordância de 40,0 m, o penúltimo trainel tem uma inclinação de -1,4644170%. Para a completa definição da rasante do ramo D apenas falta definir o desenvolvimento da primeira concordância. Dando, então, um valor também de 40,0 m, o raio vertical obtido é superior ao mínimo, existindo um trainel intermédio entre as duas concordâncias. No quadro

6.49 apresentam-se as cotas dos pontos notáveis do perfil longitudinal do Ramo D. No Desenho nº 9 – Peças Desenhadas temos os valores da rasante definida, de 25 em 25 m.

Quadro 6.49. - Cotas dos pontos notáveis do Ramo D.

PK	Ponto	Elemento				Cota (m)
		Trainel		Concordância		
		L (m)	i (%)	R _v (m)	D (m)	
0+000,000	I					528,289
0+013,550	T ₁	13,550	4,0000000			528,831
0+053,550	T' ₁			732,009	40,000	529,338
0+087,590	T ₂	34,040	-1,4644170			528,840
0+127,590	T' ₂			1965,039	40,000	527,847
0+142,145	P _{EP}	14,555	-3,5000000			527,337

6.9. PERFIL TRANSVERSAL

6.9.1. GENERALIDADES

Neste subcapítulo, o autor apresenta os perfis transversais tipo de cada ramo de ligação e do restabelecimento da Estrada Secundária, bem como os perfis transversais necessários nas zonas específicas do traçado. Fica desde já definida a convenção de sinais da inclinação transversal. Assim, a inclinação transversal é positiva se estiver acima do plano de rampa que contém o eixo e negativa no caso contrário (figura 6.25). Será dado especial cuidado às zonas de tangência entre o ramo e a estrada principal ou secundária, pois não poderá haver desníveis nestas zonas, apenas diferenças nas inclinações transversais (figura 6.26). Ou seja, não poderá existir uma diferença de cotas na zona de tangência devido à inclinação transversal. Nos ramos de ligação, a sobrelevação não é preciso ser tão elevada como em Plena Via, em que temos valores de 7%. Deste modo, valores da ordem de grandeza dos 5% ou inferiores são suficientes para garantir valores de disfarce de sobrelevação ao longo do ramo menores que o máximo e que a aceleração centrífuga seja compensada.

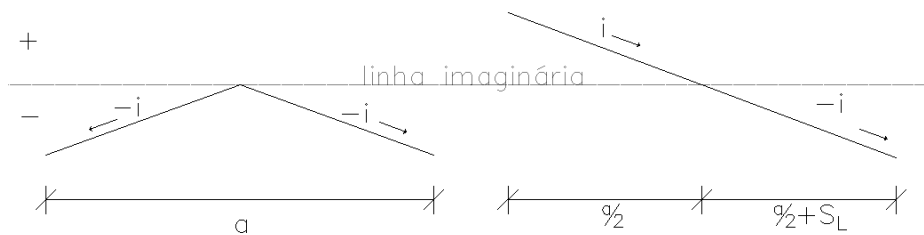


Figura 6.25.- Convenção de sinais para as inclinações transversais.

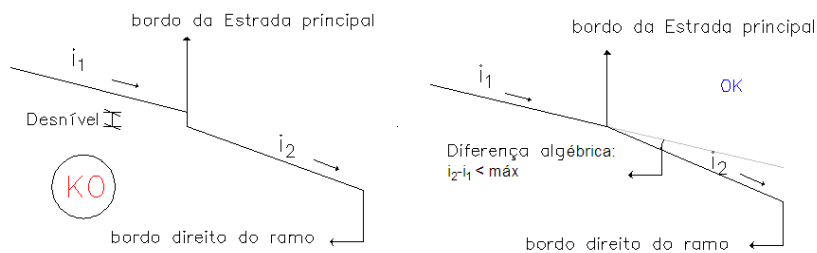


Figura 6.26. - Esquema representativo do desnível em zonas de transição.

A definição isolada da rasante dos ramos A+B e C+D não é suficiente para a correta definição do perfil na zona das intersecções. Ou seja, não basta o projetista definir as sobreelevações a partir do eixo dos ramos bidirecionais para ficar definido o perfil transversal das intersecções. É fundamental verificar sempre as cotas que vão existir nos ramos A+B1, A+B2, C+D1 e C+D2, de maneira a não acontecer desníveis absurdos entre os ramos de viragem da intersecção e a estrada secundária na zona comum aos dois elementos. Assim, será indispensável definir também o perfil longitudinal dos ramos descritos e analisar as sobreelevações obtidas. Antes disso, o perfil do terreno foi também levantado pelo mesmo princípio enunciado no subcapítulo 6.8.1 e a rasante foi definida, numa primeira fase, de forma independente. Conhecendo a rasante dos ramos A+B, A+B1 e A+B2 ou C+D, C+D1 e C+D2, obtém-se facilmente a sobre elevação existente nos ramos bidirecionais, a partir das cotas tiradas da rasante e a respetiva distância transversal. A sobre elevação na zona das intersecções será apresentada por um diagrama de sobre elevações, definido de 10 em 10 metros, à escala 1/500, tomando o eixo do ramo A+B ou C+D como referência. Os pontos auxiliares/extra das ilhas direcionais também serão apresentados para uma melhor definição geométrica das intersecções.

Desde já, adianta-se que a primeira fase de obtenção das sobre elevações não foi satisfatória, apresentando valores de inclinação transversal elevados e inadequados na transição para a ES. Assim, a partir desta primeira tentativa, o autor está mais atento às zonas em que deve alterar a rasante dos ramos A+B1 e A+B2 ou C+D1 e C+D2, de modo a obter uma solução segura, cómoda e viável. A alteração passa por definir sobre elevações em pontos específicos, verificando se a sua variação ao longo do desenvolvimento do ramo respeita os limites e se a diferença de inclinações na zona de ligação com a ES se faz o mais suave e comodamente possível, de forma a auxiliar o arranque dos veículos.

6.9.2 ESTRADA SECUNDÁRIA

Como apresentado no subcapítulo 6.4.1 para o cálculo do parâmetro A das curvas compostas, o novo troço da Estrada Secundária tem uma largura de faixa de rodagem (a) de 7,0 m, bermas exteriores de 2,5 m, inclinação transversal em alinhamento reto a duas águas de -2,5% e em curva circular toma o valor de 4,0% no extradorso e -4,0% no intradorso. A Estrada Secundária será dotada de sobrelargura caso algum dos raios das curvas circulares horizontais seja menor que 200 m. Assim, como o raio da primeira curva composta é de 180,000 m, resulta uma sobrelargura de 0,444 m introduzida no intradorso da curva, de acordo com a equação 3.37. A sobrelargura varia linearmente ao longo da curva de transição, tendo a metade interior da faixa de rodagem no início da primeira clotóide uma largura de 3,500 m e o valor máximo de 3,944 m, quando chega ao início da curva circular. Aí, passa a ser constante até ao início da clotóide de saída, variando depois do máximo até 3,500 m, mais uma vez. O extradorso da curva não sofre alteração. Para a segunda curva composta, não é necessária sobrelargura,

pois o raio é maior ou igual a 200 m, com metade da faixa de rodagem a tomar o valor constante de 3,5 m.

Na zona final da intersecção 2, este valor respeita o máximo para a linha de maior inclinação no pavimento (10%), em que temos uma inclinação longitudinal de 6,8880000% e uma sobrelevação de 3,3169202%, resultando numa inclinação no pavimento de 7,6450313%. Existe ainda um local onde essa inclinação é maior, sendo esta no final da curva composta 2 no extradorso da curva, em que apresenta uma sobrelevação de 2,5% e uma inclinação longitudinal de 8,6446276%, resultando numa inclinação segundo a linha de maior declive de 8,6446276%. A partir daqui, a sobrelevação varia até inclinações transversais de -2,5%, logo esse valor da inclinação da linha de maior declive também vem reduzido. O autor prevê também a imposição de sinalização vertical adequada de maneira a chamar a atenção da velocidade praticada nestas zonas.

Deste modo, o disfarce da sobrelevação inicia-se em alinhamento reto, à distância L_d , onde o bordo de extradorso varia de -2,5% a 2,5% até ao início da curva de transição. Ao longo da curva de transição e até ao início da curva circular, temos o disfarce de sobrelevação de 2,5% até 4,0%, no bordo de extradorso, e de -2,5% até -4,0% no bordo de intradorso. De notar, que o valor de L_d é calculado a partir da equação 3.21, em que o Δi é igual ao $\Delta i_{\text{mínimo}}$ devido ao parâmetro A ser superior ao valor de A_2^{superior} .

Nas figuras 6.27, 6.28 e 6.29 são apresentados os perfis transversais tipo em alinhamento reto e em curva circular. Observando o terreno e o perfil longitudinal, a estrada será construída praticamente toda em escavação.

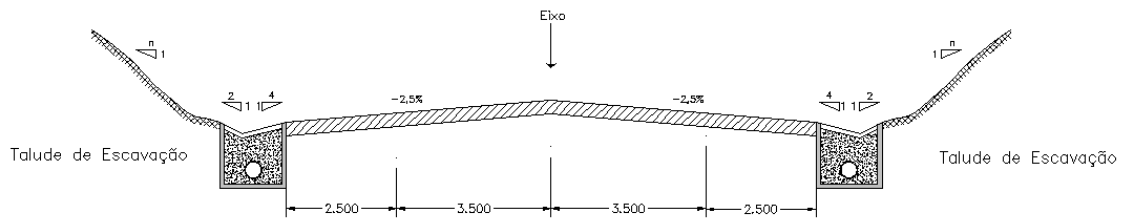


Figura 6.27 – Perfil Transversal tipo em alinhamento reto – PK 0+600,000.

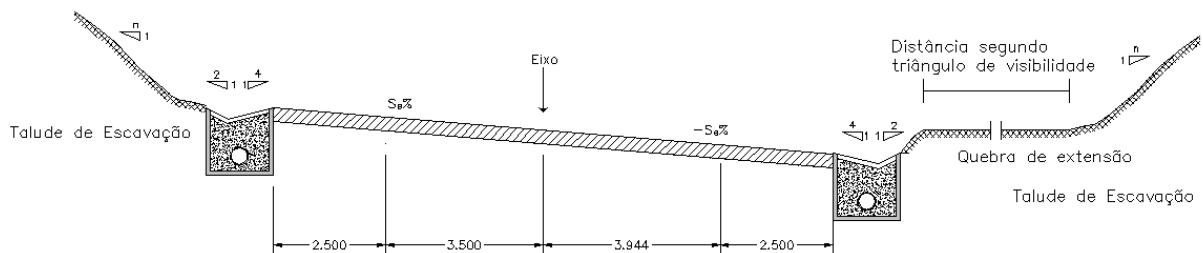


Figura 6.28 – Perfil Transversal Tipo em curva circular dotada de sobrelargura – PK 0+150,000

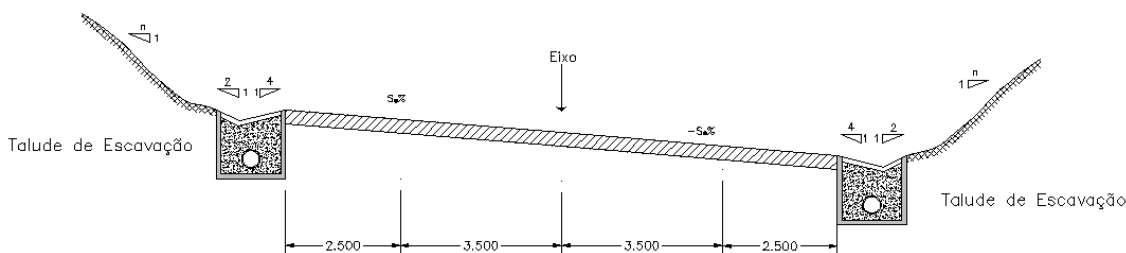


Figura 6.29. - Perfil Transversal Tipo em curva circular sem sobrelargura - PK 0+475,000

Na ES temos uma zona específica em que o perfil transversal é diferente. Essa zona é a correspondente à obra de arte, no qual o perfil transversal é o apresentado na figura 6.30. A obra de arte prevista pelo autor será uma passagem de 3 vãos. A Norma indica que os pilares devem estar afastados da berma, no mínimo, 1,20 m. Assim, sabendo o gabarit existente na zona dos pilares (aproximadamente 5,5 m) entre a Estrada Principal e a Secundária, e prevendo taludes com inclinações 3/2 obtém-se uma largura aproximada de 13,0 m, correspondente à zona da obra de arte em cima dos taludes.

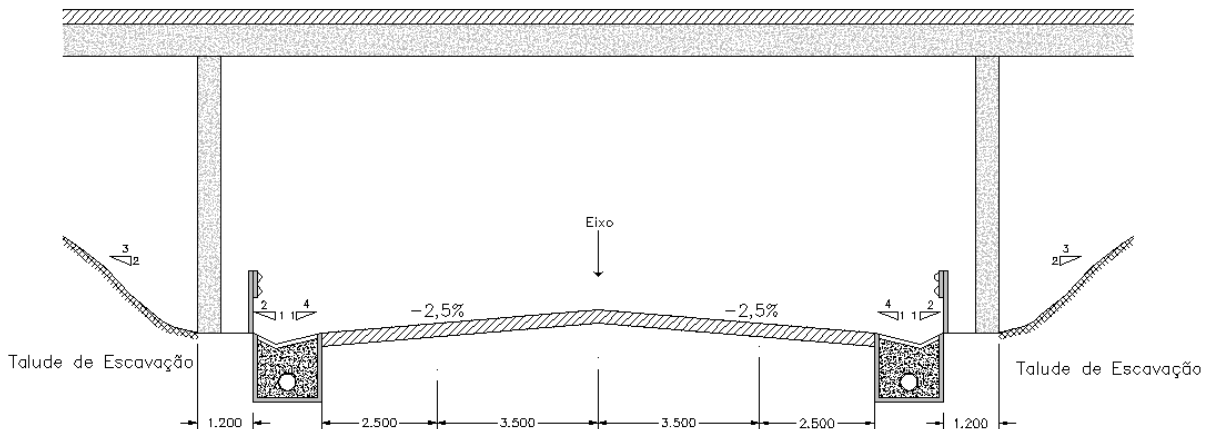


Figura 6.30. - Perfil Transversal Tipo na obra de arte - PK 0+350,000.

6.9.3. RAMO A

O perfil transversal do Ramo A, de acordo com a figura 4.9, é constituído por 2,5 m de berma exterior, $4,0+S_L$ m de faixa de rodagem e 1,0 m de berma interior. A sobrelargura, de acordo com o quadro 4.3, é de 1,25 m. Logo, a largura total da plataforma é de 8,75 m. O traço branco esquerdo do Ramo A é materializado dando um *offset* de 5,25 m (largura da faixa de rodagem) a partir do eixo. Este processo leva a que no início do ramo, o traço branco invada a faixa de rodagem da estrada principal, o que não deve acontecer. A solução encontrada é, no sítio em que o traço branco esquerdo intersecta o traço branco direito da faixa de rodagem da Estrada Principal, passa a ser o início do traço branco esquerdo do Ramo A. Nestes casos de saídas das EP, esta solução não tem problema pois os condutores desviam-se para uma faixa de rodagem que está a aumentar gradualmente a largura de 3,5 m para 5,25 m, através da clotóide de entrada no ramo. A berma esquerda também vem ilustrada servindo de guiamento às guardas de segurança. No cruzamento desta com a berma exterior da Estrada Principal, local onde se prevê a instalação das baias direcionais de divergência, é feita uma ligação entre as guardas com um raio de 0,750 m.

Como visto no subcapítulo 6.8.3, aquando do cálculo das concordâncias, o início do Ramo A é tangente à EP. Logo, a sobrelevação neste ponto tem de ser a mesma devido à continuidade que é preciso assegurar. Sendo a inclinação da estrada principal de -2,5% ao eixo, no Ramo A a sobrelevação é a mesma, mas neste caso definida a partir do eixo do ramo, ou seja, do bordo direito da faixa de rodagem, de valor 2,5%, pois apresenta-se superiormente ao eixo. Esta varia linearmente até 4,0%, valor no início da curva circular do ramo. A diferença algébrica máxima situa-se na zona do nariz (ponto 3) e é de 1,5%, menor que os 5% definidos como máximo pelo autor no subcapítulo 4.3.7. A sobrelevação mantém-se constante ao longo da curva circular e até acabar o Ramo A. A transição da sobrelevação apresenta-se no quadro 6.50, sendo de 1,0416667% por cada 20 m, respeitando o valor máximo indicado no quadro 4.8.

Quadro 6.50. – Sobrelevação nos pontos principais do Ramo A e sua variação ao longo da extensão.

PK	Elemento	Sobrelevação (%)	$\Delta se/m$ (%)
0+000,000	O3,A	2.5000000	
0+021,061	2	3.5969477	0.0520833
0+028,800	P3,A	4.0000000	
0+028,800	P3,A	4.0000000	
0+033,366	3	4.0000000	0.0000000
0+116,440	P3,B	4.0000000	

O perfil transversal tipo do Ramo A apresenta-se na figura 6.31 e ao longo da sua extensão pode estar em escavação como em aterro.

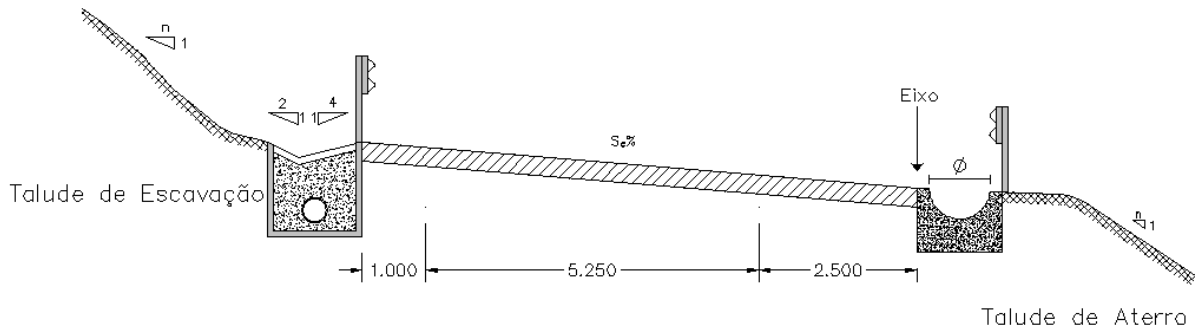


Figura 6.31. – Perfil Transversal Tipo do Ramo A em curva circular.

6.9.4. RAMO B

O perfil transversal do Ramo B, já descrito sucintamente no subcapítulo 6.5.3, é constituído por uma berma exterior de 2,5 m, uma faixa de rodagem de 4,0 m mais 1,0 m de sobrelargura em curva circular, indicada no quadro 4.3, e por 1,0 m de berma interior. O traço branco esquerdo à faixa de rodagem do ramo é definido da mesma maneira que o Ramo A, constatando que surge o mesmo problema no cruzamento deste com o traço branco direito da faixa de rodagem da EP. Aqui, o processo não pode ser o mesmo pois a largura da faixa de rodagem diminui gradualmente não devendo existir um estreitamento súbito dessa largura. A solução encontrada pelo autor foi determinar qual o local de maior afastamento entre traços. Nesse quilómetro calcula-se a largura transversal que vai desde o eixo do

ramo até ao traço branco direito da faixa de rodagem da EP. Sabendo que a sobrelargura vai variar de 5,0 m em curva circular até atingir essa distância calculada, prevendo um tempo de reação de 3 segundos por parte dos condutores para se adaptarem ao estreitamento da via, determina-se a distância necessária para efetuar o disfarce da sobrelargura. Essa distância é dada para trás a partir desse quilómetro, em que neste caso, o estreitamento da via começa em curva circular. Como o Ramo B antecede a via de aceleração, a ligação das guardas de segurança entre o ramo B e a EP não precisa de ser tão prenunciado, logo apresenta um raio de valor mais reduzido (0,5 m). Devido às duas curvas de transição iniciais, a sobrelargura também varia neste troço de 5,0 m no início até 4,0 m no ponto de raio infinito $O'_{3,B} \equiv O_{4,B}$.

O Ramo B inicia-se no ponto osculação curva circular/clotóide ($P'_{3,B}$), com sobrelevação igual à final do Ramo A, mas de sinal contrário (-4,0%). O disfarce de sobrelevação processa-se através das duas primeiras curvas de transição até atingir o valor de 2,5% no ponto de osculação clotóide/curva circular ($P_{4,B}$). Este valor mantém-se constante até concordar com a EP no ponto de osculação clotóide/alinhamento recto ($O'_{4,B}$), com sobrelevação igual de forma a assegurar a continuidade. No quadro 6.51 apresenta-se a variação da sobrelevação ao longo do Ramo B, constatando-se que cumpre o máximo regulamentar, inclusive na zona de mudança de sinal. A diferença algébrica entre o ramo B e a EP é nula e a variação da sobrelevação de 20 em 20 m é de 1,8974239%, até ao ponto $P_{4,B}$.

Quadro 6.51. - Sobrelevação nos pontos principais do Ramo B e sua variação ao longo da extensão.

PK	Elemento	Sobrelevação (%)	$\Delta se/m$ (%)
0+000,000	$P'_{3,B}$	-4.0000000	
0+034,764	$O'_{3,B} - O_{4,B}$	-0.7019027	0.0948712
0+068,514	$P_{4,B}$	2.5000000	
0+068,514	$P_{4,B}$	2.5000000	
0+101,579	3	2.5000000	0.0000000
0+105,110	$P'_{4,B}$	2.5000000	
0+105,110	$P'_{4,B}$	2.5000000	
0+126,360	2	2.5000000	0.0000000
0+138,860	$O'_{4,B}$	2.5000000	

O Ramo B apresenta dois perfis transversais tipo, um em que a sobrelevação é negativa (figura 6.32) e outro em que é positiva (figura 6.33). Segundo o perfil longitudinal podemos ter zonas de aterro e escavação, logo são apresentados para o mesmo perfil o exemplo dos dois taludes.

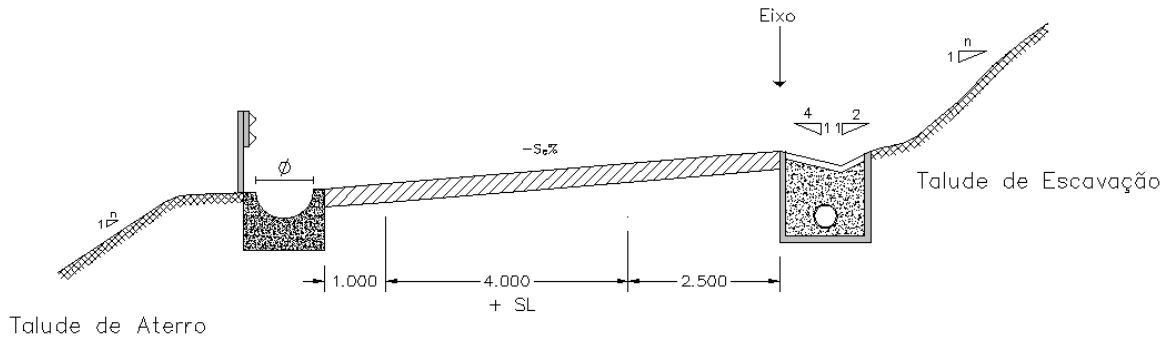


Figura 6.32. – Perfil Transversal Tipo do Ramo B – PK 0+050,000.

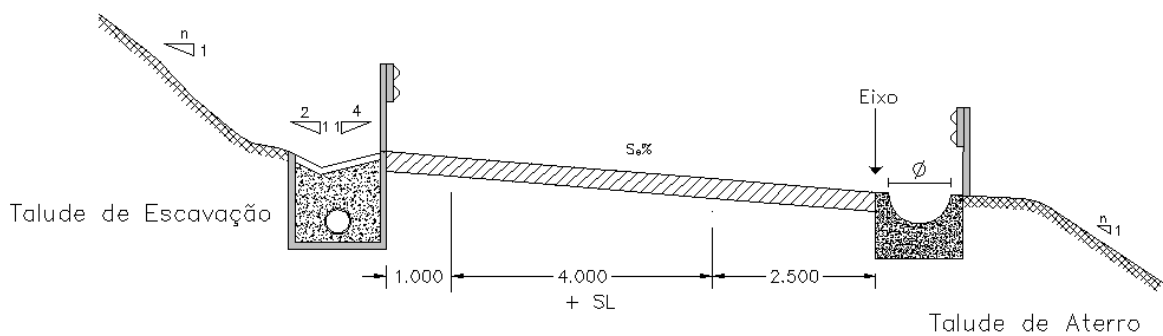


Figura 6.33. - Perfil Transversal Tipo do Ramo B - PK 115,000 m

6.9.5. RAMO C

O perfil transversal do Ramo C é em tudo semelhante ao perfil do Ramo A, tendo as mesmas medidas para a berma interior, exterior e faixa de rodagem, pois os parâmetros caracterizadores do ramo indireto são idênticos. A solução adotada, devido ao traço branco esquerdo do ramo ultrapassar a faixa de rodagem da EP, é igual, já que também antecede uma via de abrandamento, na que a largura da faixa vai aumentando gradualmente de 3,5 até 5,25 m.

Este ramo apresenta também, na zona tangente com a EP, a mesma sobrelevação que o Ramo A (2,5%). No ponto osculação clotóide/curva circular ($P_{6,C}$) é definida, à semelhança do Ramo A, uma sobrelevação de 4,0%. A estrada principal na zona do nariz (ponto 3) desenvolve-se em clotóide, logo a sobrelevação já não será -2,5%, mas sim de -3,4828416%. No ponto 3, agora referente ao ramo, este já se localiza em curva circular, logo a sobrelevação é de 4,0%, a que corresponde uma diferença algébrica de 0,5171584% na zona do nariz, abaixo do máximo adotado pelo autor. Devido à variação da sobrelevação não ser a mesma na EP e no ramo, na zona de divergência do traço branco direito da EP e do traço branco esquerdo do ramo, a sobrelevação na EP é de -2,8744842% e no ramo é de 3,5976891%, resultando numa diferença de 0,7232049%, maior que a anterior, mas inferior ao máximo. De igual modo, a sobrelevação mantém-se constante até o final do Ramo. A variação da sobrelevação, ao longo do Ramo C, apresenta-se no quadro 6.52, respeitando o máximo permitido pela Norma, pois a sua variação de 20 em 20 m na zona, em clotóide, é de 1,0416667%

O perfil transversal tipo do Ramo C apresenta-se na figura 6.34, desenvolvendo-se sempre em escavação.

Quadro 6.52. – Sobrelevação nos pontos principais do Ramo C e sua variação ao longo da extensão.

PK	Elemento	Sobrelevação (%)	$\Delta se/m$ (%)
0+000,000	O6,C	2.5000000	
0+021,076	1	3.5976891	0.0520833
0+028,800	P6,C	4.0000000	
0+028.800	P6,C	4.0000000	
0+033,419	2	4.0000000	0.0000000
0+118,178	P'6,D	4.0000000	

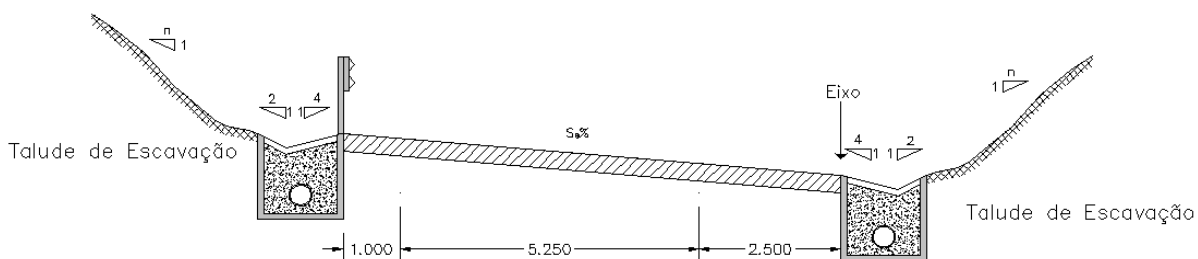


Figura 6.34. – Perfil Transversal Tipo do Ramo C em curva circular.

6.9.6. RAMO D

O perfil do Ramo D também é em tudo semelhante ao perfil do Ramo B, apesar de a sua transição no final ser em curva circular. A solução para a invasão do traço branco esquerdo do ramo é a mesma. Neste caso, o sítio de maior afastamento localiza-se no PK 0+127,590.

Como já referido, o fim do ramo concorda com a EP em curva circular com uma sobrelevação de -7,0%, em que no ponto final do Ramo (P_{EP}) essa inclinação é agora 7,0%, devido ao eixo estar localizado no bordo direito e não haver perda de continuidade. Para não existir uma diferença de inclinações acentuada, o autor adota para a curva circular com centro C_7 uma sobrelevação de 5,0%, resultando numa diferença de -2,0%. Com a sobrelevação de 5,0%, a cota no ponto 2 dava superior ao trainel. O autor, no subcapítulo 6.8.8, simplificou ao tornar nula essa diferença. Importante, agora, determinar qual a sobrelevação que essa simplificação provoca. Assim, a partir da cota retirada do perfil longitudinal do Ramo D no ponto 2, da cota calculada no bordo da faixa de rodagem da EP, referente também ao ponto 2, e da distância transversal entre elas, resulta uma sobrelevação de 6,9105580%. Fixando a sobrelevação de 5,0% no fim da curva circular de centro C_7 , é preciso verificar se a variação da sobrelevação entre estes dois pontos respeita o máximo. O Ramo B inicia-se no ponto de osculação curva circular/clotóide ($P'_{6,D}$) com uma sobrelevação igual à do ramo A mas de sinal contrário (-4,0%). A partir daqui varia ao longo das duas curvas de transição seguintes até à sobrelevação de 5,0%. No quadro 6.53 apresenta-se esta variação ao longo da extensão do ramo, constatando-se que a variação de 20 em 20 m é cumprida em todos os troços de diferente valor de sobrelevação

Quadro 6.53. – Sobreelevação nos pontos principais do Ramo D e sua variação ao longo da extensão.

PK	Elemento	Sobreelevação (%)	Δ se/m (%)
0+000,000	P'6,D	-4.0000000	
0+034,764	O'6,D - O7,D	0.5665962	0.1313601
0+068,514	P7,D	5.0000000	
0+068,514	P7,D	5.0000000	
0+104,881	3	5.0000000	0.0000000
0+111,340	P'7,D	5.0000000	
0+111,340	P'7,D	5.0000000	0.1175728
0+127,590	2	6.9105580	
0+127,590	2	6.9105580	0.0061449
0+142,145	PEP	7.0000000	

O perfil transversal tipo do Ramo D é em tudo semelhante ao do Ramo B (figuras 6.32 e 6.33), com a diferença de se desenvolver sempre em escavação, ou seja, no lugar dos taludes de aterro deviam estar taludes de escavação.

6.9.7. INTERSECÇÃO 1

A sobreelevação na intersecção 1 é definida tendo em conta os perfis longitudinais dos ramos C+D, C+D1 e C+D2. Como referido no subcapítulo 6.9.1, após uma primeira tentativa ao definir os perfis individualmente, as sobreelevações resultantes não eram adequadas. Sendo assim, através da imposição da sobreelevação em locais específicos, os perfis C+D1 e C+D2 vêm automaticamente alterados.

Antes de mais, existem sobreelevações fixas que devemos respeitar. A sobreelevação inicial do Ramo C+D é de -4,0% para intradorso e de 4,0% para extradorso, consoante a convenção definida supra. As sobreelevações da zona tangente à ES também são fixas pois é possível calcular as cotas nos pontos 1, 2, 3 e 4 definidos pelo autor (Desenho nº15 – Peças Desenhadas). Assim, a sobreelevação entre o ponto final do Ramo C+D e o ponto 2 é de 3,6369304%, e a sobreelevação entre o ponto final do Ramo C+D e o ponto 3 é de -3,3775549%. Estas sobreelevações, apesar de elevadas numa intersecção, são devidas à inclinação longitudinal máxima de 4,0% nesta zona. A sobreelevação final do Ramo C+D1 é idêntica à da ES e tem o valor de 2,5%. A sobreelevação no início do Ramo C+D2 é também igual à sobreelevação existente na ES (4,0%). As sobreelevações fixadas pelo autor de maneira a alterar o perfil longitudinal dos ramos C+D1 e C+D2 são: entre o ramo C+D e C+D1 onde se dá a divergência do traço branco para a viragem à esquerda e a viragem à direita²⁵, a sobreelevação é de -1,0% para as duas viragens; a sobreelevação entre o ponto 4 e o Ramo C+D1 é de 2,0%; a sobreelevação entre o Ramo C+D e C+D2 na convergência do traço branco direito do ramo de viragem à esquerda e do traço esquerdo ramo de viragem à direita²⁶ é igual à do início do ramo de viragem à esquerda (entre o ponto

²⁵ Local antes de iniciar a ilha direcional, no sentido dos quilómetros crescentes.

²⁶ Local depois de acabar a ilha direcional, para quem entra no ramo de ligação.

2 e o fim do Ramo C+D) e tem o valor de 3,76329333%; a sobrelevação entre o ponto 1 e o Ramo C+D2 é de 0,0%.

Estes valores que o autor procura fixar não são exatos, apenas servem para uma definição melhor do perfil longitudinal do Ramo C+D1 e C+D2 de forma que as diferenças de cotas existentes respeitem os limites da Norma quanto à diferença algébrica máxima e à variação da sobrelevação ao longo do ramo.

A partir destas novas sobrelevações foi possível calcular novas cotas no perfil C+D1, nos pontos de 10 em 10 m (representados no ramo C+D), em que se apresentam as sobrelevações. De forma à rasante passar aproximadamente nas novas cotas, foi necessário introduzir mais dois traineis intermédios e fazer com que duas dessas cotas fizessem parte da rasante. Neste caso, essas cotas correspondem ao segundo e ao quarto ponto de tangência. Assim, a primeira concordância começa logo no PK 0+000,000 e tem um desenvolvimento de 50,000 m. Sabendo a cota inicial, a cota ao PK 0+050,000 (uma das novas cotas), a inclinação do primeiro trainel e o desenvolvimento da concordância determina-se o raio da mesma ($R_v = -1001,735$ m). A partir da equação 3.24 em ordem a i_2 calcula-se a inclinação do segundo trainel. Definindo a segunda concordância com um desenvolvimento de 22,814 m, passando esta no outro ponto de cota conhecida e sabendo a cota do segundo ponto de tangência, a inclinação do segundo trainel e o desenvolvimento da concordância, determina-se o raio da segunda concordância ($R_v = 666,183$ m). De igual modo pela equação 3.24, calcula-se a inclinação do terceiro trainel. A distância definida, desde o quarto ponto de tangência e a intersecção gráfica do terceiro trainel com o último, dá metade do desenvolvimento da terceira concordância. Pela equação 3.24, retira-se o raio de valor igual a -1040,851 m. Os raios indicados são todos superiores ao mínimo.

Obtido o novo perfil do Ramo C+D1 (Desenho nº 13 – Peças Desenhadas), calcula-se novamente as sobrelevações nos pontos definidos no subcapítulo 6.9.1. De notar que as sobrelevações fixadas para definir o perfil não são as mesmas, embora as resultantes respeitem todas as condições, não havendo perda de continuidade.

Quanto ao perfil C+D2 (Desenho nº 14 – Peças Desenhadas), as novas cotas pressupunham a elevação do perfil, mas estas não subiam de forma uniforme em todos os pontos. De maneira a criar um perfil que concordasse mais ou menos essas cotas, após várias tentativas e não podendo alterar as inclinações inicial e final, o autor definiu um desenvolvimento de 20,0 m e uma inclinação de -5,2% para o segundo trainel, que passa muito perto do primeiro ponto de cota conhecida e calculada devido às novas sobrelevações. Através da equação 3.24, o raio obtido é 1666,667 m. Para a última concordância, foi definido também um desenvolvimento de 20,0 m e uma inclinação do penúltimo trainel de 2,0%. O raio determinado, novamente pela equação 3.24, é de -1000,000 m. Com o segundo e o penúltimo trainel, forma-se um vértice. O dobro da distância que vai desde esse vértice ao primeiro ponto de tangência da última concordância é o desenvolvimento da concordância intermédia. Pela equação 3.24 verifica-se se o raio obtido é maior que o mínimo, dando um raio de -690,744 m. Fica assim definida a rasante do Ramo C+D2 (desenho nº 14 – Peças Desenhadas) apresentando um trainel entre a primeira concordância e a segunda.

Deste modo, volta-se a calcular as sobrelevações. Na zona de convergência dos traços brancos, depois de acabar a ilha direcional, é definida uma sobrelevação de 4,700% para quem entra no ramo efetuando uma viragem à esquerda, e uma sobrelevação de 4,4192903% para quem entra no ramo realizando uma viragem à direita. Entre o ponto 1 e o perfil C+D2, a sobrelevação presente é quase nula, assegurando ainda assim, uma transição cómoda. No início do Ramo C+D, a sobrelevação no extradorso diminui um pouco nos primeiros 10 m, mas aumenta depois até os valores indicados anteriormente. A variação da sobrelevação desde o ponto 1 até à zona de convergência é a mais acentuada.

da, com um valor de 4,5484010% por cada 20 m. Mesmo assim, é inferior ao máximo indicado na Norma em que para velocidades específicas menores que 30 km/h, a que correspondem raios menores ou iguais a 25 m, a variação máxima de 20 em 20 m é de 5,3%.

Na figura 6.35 é apresentado o perfil transversal no início do Ramo C+D.

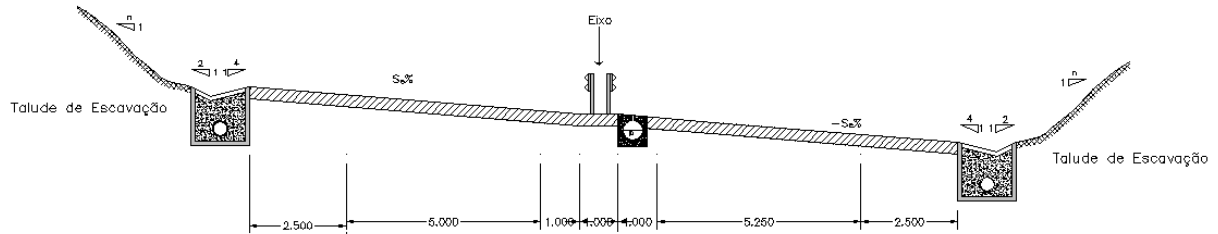


Figura 6.35. – Perfil Transversal Tipo do Ramo C+D – PK 0+000,000.

6.9.8. INTERSECÇÃO 2

Para esta intersecção, a sobrelevação é definida tendo em conta os perfis longitudinais dos ramos A+B, A+B1 e A+B2. O perfil do Ramo A+B foi definido igualmente no subcapítulo 6.8.7. Os dois perfis restantes foram definidos individualmente, levantando primeiro as cotas do terreno e desenhando assim o perfil longitudinal do terreno. Depois foi definida uma rasante respeitando a cota inicial e final já conhecidas. A partir dos três perfis, pelo quociente entre a diferença de cotas e a distância transversal entre elas, determina-se a sobrelevação. Os valores a que se chegou não eram adequados, logo o autor optou, mais uma vez, por fixar sobrelevações em pontos específicos, de maneira a respeitar os limites da variação da sobrelevação ao longo dos ramos e a assegurar uma diferença algébrica de sobrelevações não muito acentuada e compatível nas zonas de tangência, sendo estas as que concordam com a estrada secundária.

Analogamente à intersecção 1 existem sobrelevações que são fixas. A sobrelevação inicial entre o Ramo A+B e A+B1 corresponde à sobrelevação final do ramo A (neste caso, -4,0%). O mesmo se aplica entre o Ramo A+B e A+B2, em que a sobrelevação corresponde à inicial do Ramo B (neste caso 4,0%). Nesta intersecção, o autor também representa os pontos 1, 2, 3 e 4, no sentido dos quilómetros crescentes da ES (Desenho nº 16 – Peças Desenhadas). Assim, a sobrelevação, entre o ponto final do Ramo A+B e o ponto 2, tem o valor de -4,3690084% e a sobrelevação, entre o ponto final do Ramo A+B e o ponto 3, tem o valor de 4,3690424%. O autor está ciente que estes valores são elevados para este tipo de zonas. Porém, devido à condicionante do trainel da ES ter os 4,5% de inclinação longitudinal e não haver quebras no perfil, estes valores são os definidos para estes pontos, tentando suavizar estas inclinações transversais logo que se desenvolva o ramo. A sobrelevação final do Ramo A+B1 é igual à sobrelevação da ES (-0,8861483%) e a sobrelevação inicial do Ramo A+B2 é também igual à sobrelevação da ES (-3,0287385%). As próximas sobrelevações fixadas pelo autor, em pontos específicos, são: entre o Ramo A+B e A+B1, no ponto que define a divergência do traço branco do ilhéu direcional correspondente ao ramo de viragem à esquerda e à direita, é fixada uma sobrelevação de -1,0% para ambos os ramos; entre o ponto 1 e o Ramo A+B1 é fixada uma sobrelevação de 1,0%; entre o ponto 4 e o Ramo A+B2 é fixada uma sobrelevação de 2,5%; e entre o Ramo A+B e A+B2, no ponto que define a convergência do traço branco do ilhéu direcional entre o ramo de viragem à esquerda e à direita vindo da secundária, é fixada uma sobrelevação de 2,5%, também em ambos os ramos.

Estes valores servem, mais uma vez, para uma definição mais aproximada do perfil longitudinal do Ramo A+B1 e A+B2, de maneira a que as diferenças de cotas existentes respeitem os limites da Norma, quanto à diferença algébrica máxima e quanto à variação da sobrelevação ao longo do ramo.

Obtidas as novas cotas no perfil A+B1 nos pontos em que se apresentam as sobrelevações, os novos valores são superiores aos anteriores, logo a solução passa por subir a rasante, aumentando a inclinação do trainel intermédio (para -7,25%), já que os traineis inicial e final não podem ser modificados. O autor define também o desenvolvimento da última concordância como sendo a diferença entre a extensão total do ramo e o quilómetro correspondente à sobrelevação entre o ponto 1 e o Ramo A+B1. A partir da equação 3.24, o raio da concordância côncava toma o valor de -1101,122 m, superior ao mínimo. Obtendo graficamente a intersecção do primeiro trainel com o segundo trainel, tira-se a distância que vai desde esse vértice até ao início da segunda concordância. O valor do desenvolvimento da primeira concordância é o dobro da distância anterior. O raio da primeira concordância é calculado, mais uma vez, a partir da equação 3.24, de valor igual a 1310,513 m, maior que o mínimo. Conhecendo o novo perfil do Ramo A+B1 (Desenho nº 11 – Peças Desenhadas), calcula-se novamente as sobrelevações para os pontos definidos no subcapítulo 6.9.1. De notar que as sobrelevações fixadas para definir o perfil não são as mesmas, embora as resultantes respeitem todas as condições, não havendo perda de continuidade.

Quanto ao perfil A+B2, os novos valores das cotas calculadas a partir das sobrelevações fixadas, dão inferiores aos anteriores. Assim, o perfil do ramo A+B2 terá de descer por intermédio da redução do raio da concordância côncava. O raio definido é igual a -365,000 m, superior ao mínimo indicado no quadro 4.6, para um raio da curva circular horizontal, naquela zona, de 25 m. Através da equação 3.24, em ordem a D, o valor do desenvolvimento da concordância côncava é de 39,140 m. Redefinido o perfil A+B2 (Desenho nº 12 – Peças Desenhadas), calculam-se novamente as sobrelevações, respeitando sempre o máximo indicado quanto à diferença algébrica e à variação da sobrelevação ao longo do ramo. O perfil transversal tipo no início do Ramo A+B é igual ao apresentado na figura 6.35, para o Ramo C+D.

As sobrelevações na Intersecção 1 e na Intersecção 2 são representadas, como referido, por um Diagrama de Sobrelevações à escala 1/500 (Desenhos nº 15 e 16 – Peças Desenhadas). Ainda no que diz respeito aos perfis transversais, os ramos que estiverem em aterro vêm dotados de vala de bordadura e nos taludes de grande altura, se for em escavação, são previstas valas de crista. Se for em aterro, são previstas valas pé de talude.

6.10. OUTRAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

6.10.1. EXTENSÕES DOS ALINHAMENTOS RETOS NA ESTRADA SECUNDÁRIA

Consultando o quadro 3.3, para uma Velocidade Base igual a 50 km/h, as extensões mínima e máxima não são preconizadas na Norma, logo, serão apenas apresentadas as extensões dos alinhamentos retos. O troço redefinido para a Estrada Secundária é constituído, além das curvas compostas, por três alinhamentos retos. A extensão do primeiro alinhamento reto tem apenas 66,952 m, mas observando a planta topográfica, verifica-se que a estrada secundária desenvolve-se também em alinhamento reto, previamente ao km 0+000,000 e numa extensão considerável. O segundo alinhamento reto situa-se entre as duas curvas compostas e tem uma extensão de 146,410 m. O terceiro alinhamento reto inicia-se no PK 0+524,070 e termina no PK 0+800,000. A sua extensão é então de 275,930 m.

6.10.2. VIA DE LENTOS

Como abordado no subcapítulo 3.4.1, a criação de uma via adicional para os veículos lentos seria de implementar em função da inclinação do trainel no troço em que o perfil longitudinal da Estrada Secundária apresenta uma inclinação superior a 8,0%, sendo de 120,000 m a extensão crítica para a qual se prevê a criação da via de lentos. Porém, também é necessário garantir que o volume horário de projeto seja superior a 200 veículos/hora. Neste projeto, como o volume horário de projeto é reduzido, inferior a 100 veículos/h, não se justifica aumentar o número de vias da estrada secundária para aquele troço.

6.10.3. VISIBILIDADE

Quanto à visibilidade de decisão prevista nas saídas dos IPs e ICs, para uma Velocidade do Tráfego de 120 km/h, a distância mínima de visibilidade de decisão é de 400 m. No sentido dos quilómetros crescentes, essa visibilidade é condicionada pelo raio da curva de 700 m da Estrada Principal. O autor prevê a sinalização adequada neste troço, no sentido de, antecipadamente, informar os condutores da existência da saída. Outra medida que o autor já tomou foi a de considerar uma via de abrandamento mais extensa do que a preconizada nas Normas Espanholas. No sentido contrário, o problema da distância mínima de visibilidade de decisão não se coloca, pois a estrada desenvolve-se em alinhamento reto.

Na zona de intersecções também é necessário assegurar a máxima intervisibilidade por parte dos condutores. Assim, com auxílio do triângulo mínimo de visibilidade, o autor procura colmatar os pontos críticos. Um desses pontos é na intersecção 1, pois esta encontra-se no intradorso da curva composta 1 da Estrada Secundária. A distância de visibilidade, segundo o quadro 5.3, é de 185 m. Na figura 6.36 apresenta-se a representação do triângulo mínimo de visibilidade para esta intersecção. Podemos constatar que quem quer entrar na ES por uma viragem à esquerda, precisa de uma linha de visão que corta o terreno. O mesmo acontece na viragem à direita em que temos duas linhas de visão, pois os condutores têm visibilidade a partir do momento que a ilha separadora passa a ser materializada por lancil. A conjugação destas linhas de visão dá a área na qual o talude de escavação do perfil transversal da Estrada Secundária tem de vir afastado. Esta banqueta de visibilidade tem uma altura de 0,5 m.

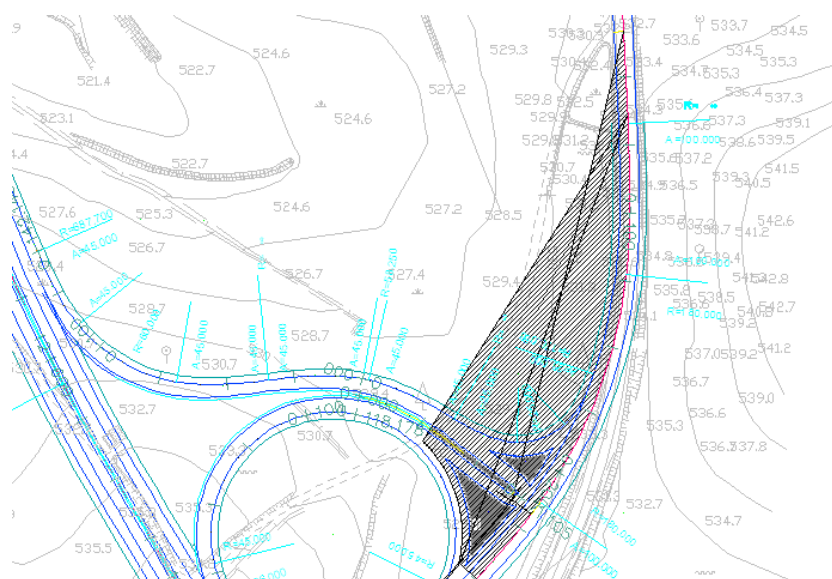


Figura 6.36. – Triângulo mínimo de visibilidade na Intersecção 1

O triângulo de visibilidade na intersecção 2 é representado pela figura 6.37. Se observarmos apenas em planta, diríamos que também seria necessária uma banqueta de visibilidade. Porém, esta não será necessária visto que o perfil longitudinal à esquerda da intersecção é em declive acentuado, com cotas superiores às da intersecção, o que pressupõe uma boa intervisibilidade por parte dos condutores. Ainda de referir que a linha de visão condicionante é a do início do lancil materializado, tendo os condutores que parar obrigatoriamente na intersecção, onde a visibilidade é boa.

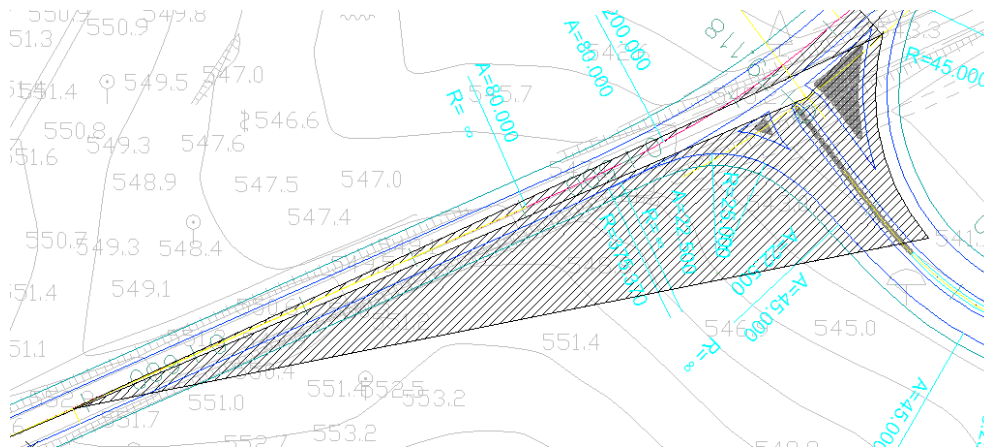


Figura 6.37. – Triângulo mínimo de visibilidade da Intersecção 2

Em relação à zona entre as intersecções na qual existe também a obra de arte, pela figura 6.38, pode-se observar que não existe qualquer impedimento à visibilidade, onde a zona de visão dos condutores, para 185 m, está afeta apenas à largura da plataforma que se desenvolve em alinhamento reto.

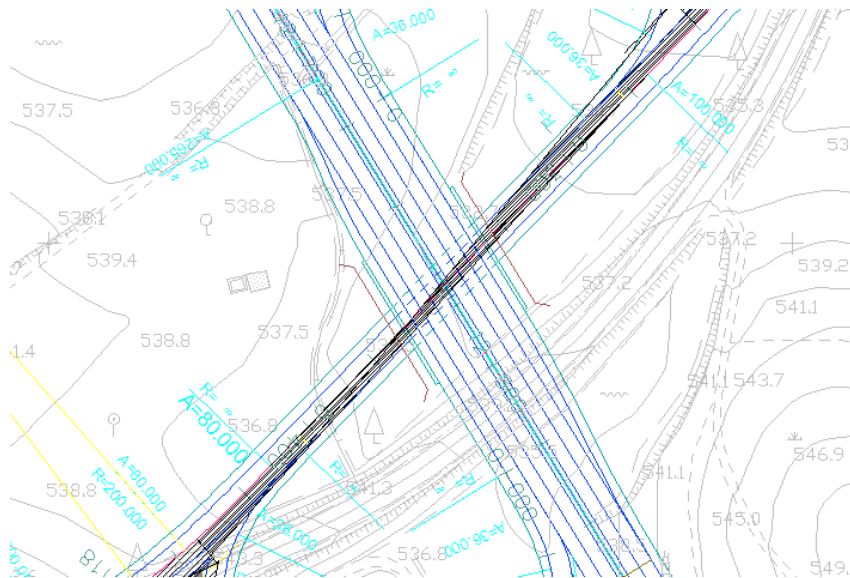


Figura 6.38. – Visibilidade na zona intermédia das intersecções 1 e 2

6.10.4. PONTOS BAIXOS EM ESCAVAÇÃO

Em alguns ramos e no perfil da Estrada Secundária existem pontos baixos em escavação que não podem ser evitados, podendo criar problemas no correto escoamento da água. O estudo e dimensionamento dos órgãos de drenagem não é âmbito desta dissertação, mas convém chamar à atenção que uma solução para minimizar os problemas de acumulação de água será procurar na planta topográfica onde se localizam os pontos baixos do terreno de maneira a que, por intermédio de condutas, o escoamento se faça por gravidade. Será necessário então a implantação de caixas de visita associadas às diferentes condutas, que devem convergir num coletor que leva a água para os pontos de cota mais baixos. Além da Estrada Secundária, os ramos que necessitam deste estudo são: A+B2, C+D, C+D1 e C+D2.

6.10.5. LIGAÇÃO DO TROÇO DA ESTRADA SECUNDÁRIA NOVA À EXISTENTE

A faixa de rodagem da Estrada existente tem uma largura de 6,0 m em alinhamento reto. O autor definiu uma largura de 7,0 m para o novo troço. A ligação dos dois perfis, pelos bordos da faixa de rodagem é feita através de dois tapers, um de cada lado. A primeira transição é realizada logo no PK 0+000,000 e a última transição no PK 0+775,000, ambas em alinhamento reto. Devido à diferença reduzida de larguras das faixas de rodagem, o autor define que a transição seja efetuada numa extensão de 25 m.

7

Conclusão

O Projeto de um Nó de Ligação é um trabalho que envolve dedicação, atenção aos pormenores e tempo. Além do mais, é fundamental na sua execução que o projetista ponha em prática a sua experiência e conhecimento, de maneira a chegar a uma solução com qualidade e que se enquadre nos objetivos futuros previstos para cada zona.

As Normas do Traçado são uma fonte teórica essencial na elaboração deste Projeto, ou em qualquer outro. Delas foi feita uma abordagem nos capítulos iniciais. No capítulo 6 é apresentada uma Memória Descritiva alargada e muito justificativa, procurando-se transmitir os passos efetuados e as opções tomadas ao longo deste Projeto, estando o autor ciente que um projeto desta natureza não apresenta apenas uma única solução. Logo, os maiores entraves encontrados são alvo de reflexão nesse capítulo.

A escolha da passagem desnivelada inferior da Estrada Secundária com a Principal foi justificada em subcapítulo próprio (6.2). Seria de acrescentar que um estudo mais aprofundado do custo do volume de terras a movimentar versus o custo de uma passagem superior daria uma melhor análise comparativa da solução a adotar. Face aos dados disponíveis, na visão do autor, a passagem inferior é uma boa escolha e enquadra-se nos objetivos pré-definidos. Após o Projeto realizado e a obtenção de alguma sensibilidade crítica, seria possível uma pequena redução dos raios nos ramos de saída da Estrada Principal, com o intuito de afastar a primeira intersecção do intradorso da primeira curva da Estrada Principal, devido à falta de visibilidade aí confirmada. Contudo, a solução apresentada procurou minimizar o problema, através de uma banquetta de visibilidade, que é totalmente exequível. Com os conhecimentos adquiridos até à data, o autor ainda sentiu uma dificuldade teimosa, mas ultrapassada, na adoção dos valores para as sobrelevações nas intersecções com a Estrada Secundária. O resultado final procura garantir aos condutores uma transição suave para e da Estrada Secundária, cómoda e segura, não havendo quebras nos perfis.

O autor sente-se, assim, realizado pelo trabalho desenvolvido e pelos conhecimentos adquiridos ao longo deste, esperando que o ganho de experiência não seja o último, podendo um dia contribuir para a evolução desta área. De notar a importância da análise crítica que é preciso ter e desenvolver face às diversas condicionantes que surgem.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo4A/rodovias.htm> Data de acesso: 09/04/2012.
- [2] <http://viasromanas.planetaclix.pt/vrinfo.html>. Data de acesso: 18/04/2012.
- [3] DINIS, Nelson, Regulação dos Transportes, Regulação das Infraestruturas Rodoviárias.
- [4] PACHECO, Elsa – Alteração das acessibilidades e dinâmicas territoriais na Região Norte: expectativas, intervenções e resultantes. Faculdade de Letras da Universidade do Porto, GEDES, 2004. <http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/143.pdf> Data de acesso: 08/04/2012
- [5] SILVA, Fernando, SOUSA, João, Formulação de políticas públicas no horizonte 2013, Acessibilidade e Transportes, Novembro 2005. www.qren.pt/download.php?id=67 Data de acesso: 10/04/2012
- [6] Estradas de Portugal, <http://www.estradasdeportugal.pt/index.php/historia>. Data de acesso: 07/04/2012
- [7] Estradas de Portugal <http://www.estradasdeportugal.pt/index.php/pt/areas-de-atuacao/pm>. Data de acesso: 07/04/2012.
- [8] <http://aprenderesds.wikispaces.com/A+Junta+Aut%C3%B3noma+das+Estradas+e+a+melhoria+da+s+vias+rodovi%C3%A1rias>. Data de acesso: 08/04/2012.
- [9] Decreto-Lei nº 222/98 de 17 de Julho. <http://www.inir.pt/portal/LinkClick.aspx?fileticket=Mx1%2BBjAuK%2BU%3D&tabid=62&mid=437&language=pt-PT>. Data de acesso: 19/02/2012
- [10] http://www.igeo.pt/atlas/Cap2/Cap2e_2.html. Data de acesso: 10/04/2012.
- [11] Direção de Planeamento, Gabinete de Controlo de Gestão e Sistemas de Informação. RTE-T: Caracterização e Evolução da Componente Rodoviária. Instituto Nacional de Infraestruturas Rodoviárias, Lisboa, Dezembro 2011. <http://www.inir.pt/portal/LinkClick.aspx?fileticket=jD%2FYypLzw1k%3D&tabid=142&mid=546&language=pt-PT>. Data de acesso: 08/04/2012
- [12] http://europa.eu/legislation_summaries/transport/road_transport/tr0036_en.htm. Data de acesso: 11/04/2012.
- [13] http://ec.europa.eu/transport/publications/statistics/pocketbook-2011_en.htm. Data de acesso: 25/04/2012.
- [14] Diário da República, 1ª série – Nº 122 – 26 de Junho de 2009, Resolução do Conselho de Ministros nº 53/2009. <http://dre.pt/pdf1s/2009/06/12200/0416004188.pdf>. Data de acesso: 09/04/2012
- [15] <http://www.prospectiva.pt/asr.html>. Data de acesso: 11/04/2012.
- [16] SECO, Álvaro, FERREIRA, Sara, SILVA, Ana, COSTA, Américo Pires da, Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transporte, Segurança Rodoviária. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte. Dezembro 2008. http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasconcelos/Documentos/ManualdeAcessibilidades/ManuaisCCDRNmiolo_AF/11SegRodoviaria_AF.pdf. Data de acesso: 04/04/2012
- [17] COSTA, Américo Pires da, TAVARES, José, Apontamentos de Circulação e Transportes 2. Capítulo Peões.

- [18] JAE, 1994, Norma do Traçado JAE P3/94.
- [19] ENGIVIA, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Norma de Traçado Revisão. Novembro de 2010.
<http://www.inir.pt/portal/LinkClick.aspx?fileticket=!%2BmqF3AOYtM%3D&tabid=111&mid=482&language=pt-PT> Data de acesso: 11/04/2012
- [20] FRANÇA, Prof. Dr. Adalberto, Sebenta de Vias de Comunicação 1. Faculdade de Engenharia, 1995.
- [21] FRANÇA, Prof. Dr. Adalberto, Sebenta de Vias de Comunicação 2. Faculdade de Engenharia.
- [22] JAE, 1990 – Norma de Nós de Ligação, JAE P6/90.
- [23] JAE, 1990 – Norma de Intersecções, JAE P5/90.
- [24] FRANÇA, Prof. Dr. Adalberto, Tópicos de Resumos de Complementos de Estradas e Aeródromos.
- [25] COSTA, Américo Pires da, TAVARES, José, Apontamentos de Circulação e Transportes 1, Capítulo Hierarquização Viária.

Anexos

A.1. DEFINIÇÃO NUMÉRICA DO TRAÇADO EM PLANTA

A.2. DEFINIÇÃO NUMÉRICA DO TRAÇADO EM PERFIL (RASANTE)

A.3. ESQUEMAS DE CÁLCULO

PEÇAS DESENHADAS – FICHEIRO À PARTE

A.1. DEFINIÇÃO NUMÉRICA DO TRAÇADO EM PLANTA

A.1.1. PARÂMETROS CARACTERIZADORES DA CURVA COMPOSTA 1 E 2 DA ALTERNATIVA A

Parâmetro	Curva composta 1	Curva composta 2
Ω (gr)	51,66136449	24,53354459
β (gr)	148,33863551	175,46645541
R (m)	180,000	200,000
$A_{\text{implantação}}$ (m)	162,149	124,157
A_1 (m)	67,996	67,393
A_2 (m)	[30,741; 39,686]	[32,404; 41,833]
A_3 (m)	70,711	74,536
A_4 (m)	60,000	66,667
$A_{\text{desejável}}$ (m)	[93,617; 114,657]	[71,682; 87,792]
A (m)	100,000	80,000
L (m)	55,556	32,000
X (m)	55,423	31,980
Y (m)	2,853	0,853
τ (rad)	0,15432099	0,08000000
τ (gr)	9,82437920	5,09295818
ΔR (m)	0,714	0,213
X_m (m)	27,756	15,997
t (m)	77,632	39,063
L_d (m)	29,167	29,167
d (m)	90,514	45,074
D (m)	201,625	109,074

A.1.2. DEFINIÇÃO DA DIRETRIZ DA ALTERNATIVA A DE 25 EM 25 METROS.

Ponto Quilométrico (PK)	Elemento	A (m)	R (m)	M (m)	P (m)
0+000				88426,919	192093,306
0+25,000	AR 1	-	∞	88427,997	192068,329
0+50,000				88429,074	192043,352
0+66,961				88429,806	192026,407
0+75,000				88430,143	192018,375
0+100,000	CT 1	100,000	Variável	88430,629	191993,383
0+122,517				88429,344	191970,912
0+125,000				88429,052	191968,446
0+150,000				88424,225	191943,937
0+175,000	CC 1	-	180,000	88416,052	191920,332
0+200,000				88404,690	191898,086
0+213,030				88397,574	191887,174
0+225,000				88390,379	191877,609
0+250,000	CT 2	100,000	Variável	88373,947	191858,777
0+268,586				88361,108	191845,339
0+275,000		-	∞	88356,650	191840,727
0+300,000				88339,276	191822,751
0+325,000				88321,902	191804,775
0+350,000	AR 2			88304,527	191786,799
0+375,000		88287,153	191768,823		
0+400,000		88269,779	191750,847		
0+414,996				88259,357	191740,064
0+425,000	CT 3	80,000	Variável	88252,386	191732,889
0+446,996				88236,519	191717,662
0+450,000				88234,251	191715,693
0+475,000	CC 2	-	200,000	88214,285	191700,675
0+492,070				88199,646	191691,905
0+500,000				88192,608	191688,251
0+524,070	CT 4	80,000	Variável	88170,753	191678,171
0+525,000				88169,903	191677,795
0+550,000				88147,046	191667,668
0+575,000				88124,188	191657,541
0+600,000				88101,331	191647,415
0+625,000	AR 3	-	∞	88078,474	191637,288
0+650,000				88055,617	191627,161
0+675,000				88032,760	191617,035
0+700,000				88009,902	191606,908
0+725,000				87987,045	191596,781
0+732,455				87980,229	191593,761

A.1.3. PARÂMETROS CARACTERIZADORES DA CURVA COMPOSTA DA ALTERNATIVA B

Parâmetros	Curva composta
Ω (gr)	76,19485488
β (gr)	123,80514512
R (m)	200,000
$A_{\text{implantação}}$ (m)	218,803
A_1 (m)	67,393
A_2 (m)	[32,404; 41,833]
A_3 (m)	74,536
A_4 (m)	66,667
$A_{\text{desejável}}$ (m)	[126,326; 154,717]
A (m)	140,000
L (m)	98,000
X (m)	97,413
Y (m)	7,969
τ (rad)	0,24500000
τ (gr)	15,59718442
ΔR (m)	1,997
X_m (m)	48,902
t (m)	137,729
L_d (m)	29,167
d (m)	141,373
D (m)	337,373

A.1.4. DEFINIÇÃO DA DIRETRIZ DA ALTERNATIVA B DE 25 EM 25 METROS.

Ponto Quilométrico (PK)	Elemento	A (m)	R (m)	M (m)	P (m)
0+0,000				88426,919	192093,306
0+25,000				88427,997	192068,329
0+50,000	AR 1	-	∞	88429,074	192043,352
0+75,000				88430,152	192018,376
0+100,000				88431,230	191993,399
0+109,629				88431,645	191983,779
0+125,000				88432,277	191968,421
0+150,000	CT 1	140,000	Variável	88432,826	191943,428
0+175,000				88432,088	191918,444
0+200,000				88429,273	191893,613
0+207,629				88427,882	191886,113
0+225,000				88423,665	191869,267
0+250,000	CC 1	-	200,000	88415,069	191845,808
0+275,000				88403,616	191823,605
0+300,000				88389,484	191803,002
0+325,000				88372,893	191784,322
0+349,002				88354,891	191768,468
0+350,000	CT 2	140,000	Variável	88354,103	191767,857
0+375,000				88333,487	191753,736
0+400,000				88311,658	191741,563
0+425,000				88289,135	191730,718
0+447,002				88269,055	191721,723
0+450,000	AR2	-	∞	88266,315	191720,509
0+475,000				88243,457	191710,382
0+500,000				88220,600	191700,255
0+525,000				88197,743	191690,129
0+550,000				88174,886	191680,002
0+575,000				88152,029	191669,876
0+600,000				88129,171	191659,749
0+625,000				88106,314	191649,622
0+650,000				88083,457	191639,496
0+675,000				88060,600	191629,369
0+700,000	88037,743	191619,242			
0+725,000	88014,885	191609,116			
0+750,000	87992,028	191598,989			
0+762,906	87980,229	191593,761			

A.1.5. DEFINIÇÃO DA DIRETRIZ DO RAMO A

Ponto Quilométrico (PK)	Elemento	A (m)	R (m)	M (m)	P (m)
0+0,000				88322,848	191738,447
0+25,000	CT	36	Variável	88334,144	191716,217
0+28,800				88335,160	191712,557
0+50,000				88335,054	191691,553
0+75,000	CC	-	45	88322,825	191670,115
0+100,000				88301,129	191658,352
0+116,440				88284,791	191657,757

A.1.6. DEFINIÇÃO DA DIRETRIZ DO RAMO B

Ponto Quilométrico (PK)	Elemento	A (m)	R (m)	M (m)	P (m)
0+0,000	CC	-	58,25	88282,860	191644,649
0+25,000	CT	45	Variável	88307,776	191645,070
0+34,764	AR	-	∞	88317,439	191646,474
0+50,000	CT	45	Variável	88332,538	191648,494
0+68,514				88351,013	191648,438
0+75,000				88357,387	191647,257
0+100,000	CC	-	60	88379,784	191636,561
0+105,110				88383,703	191633,284
0+125,000	CT	45	Variável	88396,464	191618,088
0+138,860				88403,900	191606,392

A.1.7. DEFINIÇÃO DA DIRETRIZ DO RAMO A+B

Ponto Quilométrico (PK)	Elemento	A (m)	R (m)	M (m)	P (m)
0+0,000	CC	-	51,75	88283,808	191651,079
0+20,656				88264,503	191658,035
0+25,000				88260,885	191660,436
0+50,000	CT	45	Variável	88243,310	191678,103
0+59,787				88237,348	191685,863
0+75,000	AR	-	∞	88228,173	191697,999
0+79,118				88225,690	191701,284

A.1.8. DEFINIÇÃO DA DIRETRIZ DO RAMO C

Ponto Quilométrico (PK)	Elemento	A (m)	R (m)	M (m)	P (m)
0+0,000				88289,969	191839,042
0+25,000	CT	36	Variável	88278,673	191861,272
0+28,800				88277,656	191864,933
0+50,000				88277,763	191885,937
0+75,000	CC	-	45	88289,991	191907,374
0+100,000				88311,687	191919,138
0+118,178				88329,739	191919,446

A.1.9. DEFINIÇÃO DA DIRETRIZ DO RAMO D

Ponto Quilométrico (PK)	Elemento	A (m)	R (m)	M (m)	P (m)
0+0,000	CC	-	58,25	88332,175	191932,47
0+25,000	CT	45	Variável	88307,261	191933,011
0+34,764	AR	-	∞	88297,552	191931,981
0+50,000	CT	45	Variável	88282,386	191930,545
0+68,514				88263,927	191931,314
0+75,000				88257,603	191932,74
0+100,000	CC	-	60	88235,636	191944,293
0+111,340				88227,642	191952,312
0+125,000	CT	45	Variável	88220,043	191963,641
0+142,145				88212,637	191979,097

A.1.10. DEFINIÇÃO DA DIRETRIZ DO RAMO C+D

Ponto Quilométrico (PK)	Elemento	A (m)	R (m)	M (m)	P (m)
0+0,000	CC	-	51,75	88330,98	191926,081
0+4,792				88335,643	191924,983
0+25,000	CT	45	Variável	88353,869	191916,422
0+43,923				88374,014	191901,633
0+50,000	AR	-	∞	88369,197	191905,337
0+71,165				88390,792	191888,73

A.1.11. PONTOS NOTÁVEIS DO TAPER DA VIA DE ABRANDAMENTO DO RAMO A

Ponto Notável	M (m)	P (m)
A	88261,939	191837,683
E	88264,922	191839,514
A'	88274,503	191817,213
P	88275,994	191818,129
C1	88123,708	191752,840
B	88287,067	191796,743
C2	88428,281	191883,417

A.1.12. PONTOS NOTÁVEIS DO TAPER DA VIA DE ACELERAÇÃO DO RAMO B

Ponto Notável	M (m)	P (m)
A	88454,902	191523,296
A'	88474,518	191491,336
P	88476,010	191492,251
C1	88798,078	191733,928
B'	88494,135	191459,376
B	88497,118	191461,206
C2	88153,942	191250,574

A.1.13. PONTOS NOTÁVEIS DO TAPER DA VIA DE ABRANDAMENTO DO RAMO C

Ponto Notável	M (m)	P (m)
A	88364,980	191716,829
E	88361,997	191714,999
A'	88345,364	191748,789
P	88343,872	191747,874
C1	88705,173	191925,631
B	88325,748	191780,750
C2	87982,572	191570,117

A.1.14. PONTOS NOTÁVEIS DO TAPER DA VIA DE ACELERAÇÃO DO RAMO D

Ponto Notável	M (m)	P (m)
A	88204,394	191998,893
C1	87908,101	191880,890
P	88196,299	192017,476
C2	88484,497	192154,062
P	88196,299	192017,476
B	88177,121	192069,010

A.1.15. CONTINUAÇÃO DA DEFINIÇÃO DA DIRETRIZ DA ALTERNATIVA A ATÉ O PK 0+800,000

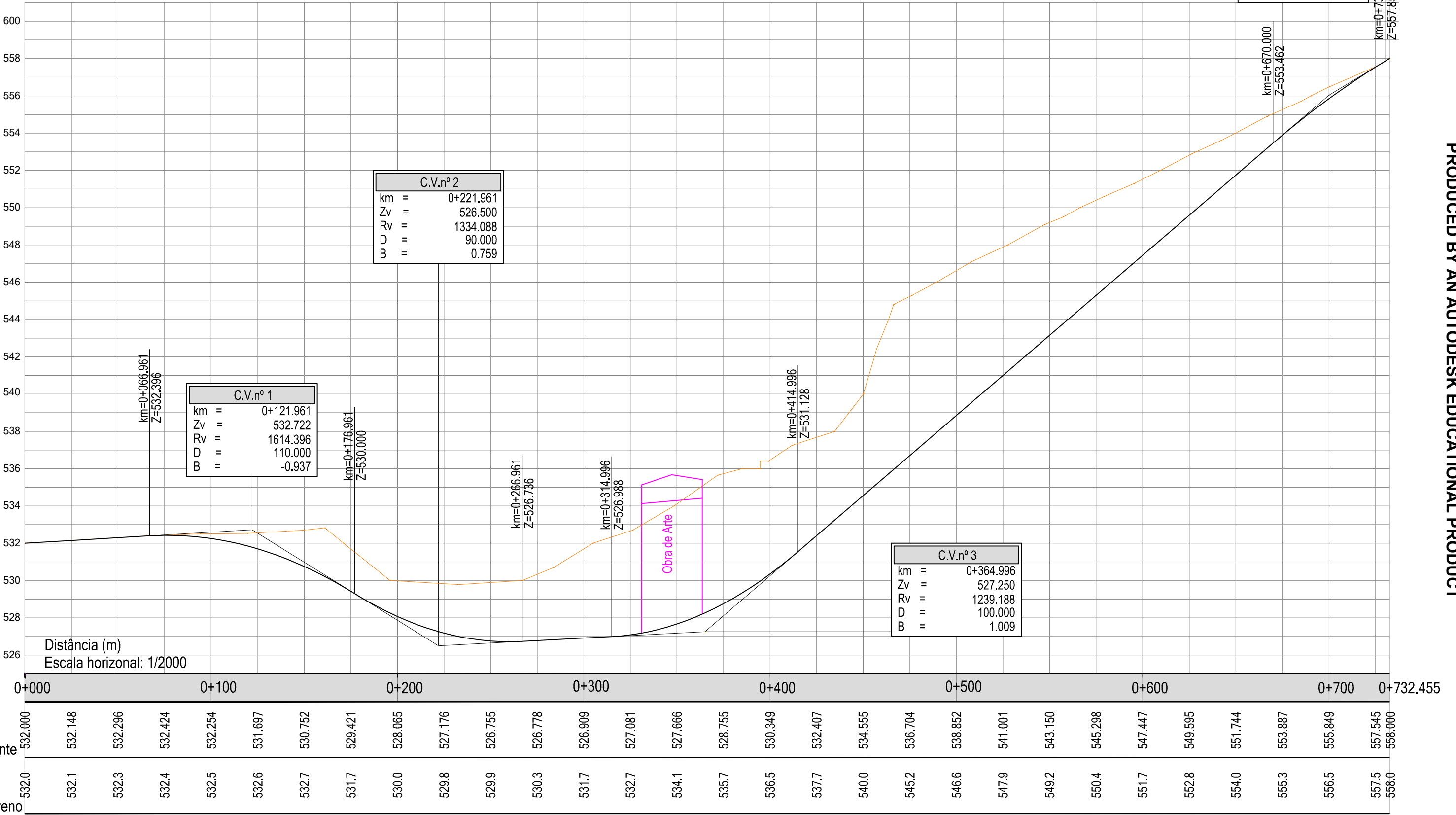
Ponto Quilométrico (PK)	Elemento	A (m)	R (m)	M (m)	P (m)
0+750,000				87964,188	191586,655
0+759,404	AR3	-	∞	87955,590	191582,846
0+775,000				87941,331	191576,528
0+800,000				87918,474	191566,401

A.2. DEFINIÇÃO NUMÉRICA DO TRAÇADO EM PERFIL

A.2.1. PERFIL LONGITUDINAL DA ALTERNATIVA A

Alternativa A
Cota (m)
Escala: 1/200

C.V.nº 4	
km =	0+700.000
Zv =	556.041
Rv =	2346.160
D =	60.000
B =	0.192



C.V.nº 2	
km =	0+221.961
Zv =	526.500
Rv =	1334.088
D =	90.000
B =	0.759

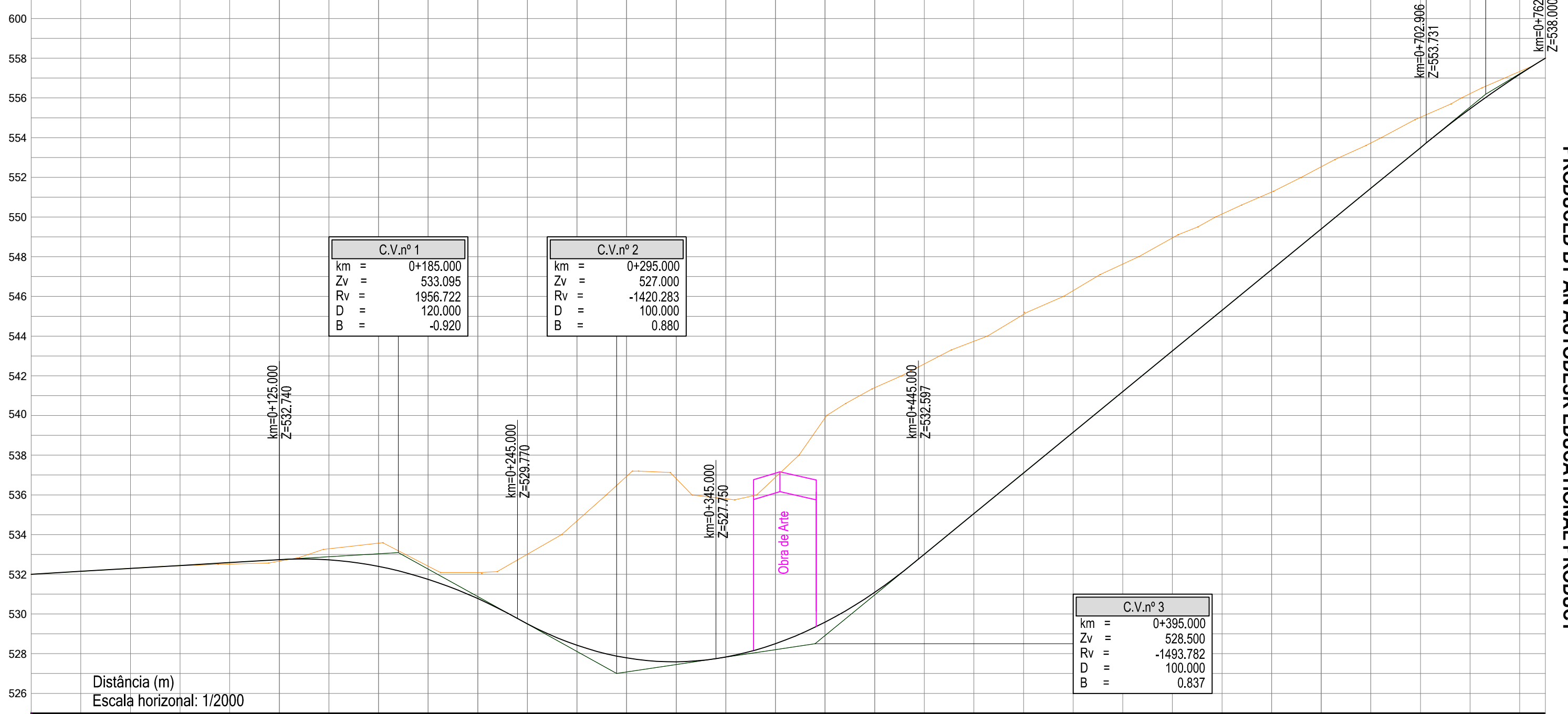
C.V.nº 1	
km =	0+121.961
Zv =	532.722
Rv =	1614.396
D =	110.000
B =	-0.937

C.V.nº 3	
km =	0+364.996
Zv =	527.250
Rv =	1239.188
D =	100.000
B =	1.009

A.2.2. PERFIL LONGITUDINAL DA ALTERNATIVA B

Alternativa B
Cota (m)
Escala: 1/200

C.V.nº 4	
km =	0+732.906
Zv =	556.189
Rv =	2778.945
D =	60.000
B =	-0.162



C.V.nº 1	
km =	0+185.000
Zv =	533.095
Rv =	1956.722
D =	120.000
B =	-0.920

C.V.nº 2	
km =	0+295.000
Zv =	527.000
Rv =	-1420.283
D =	100.000
B =	0.880

C.V.nº 3	
km =	0+395.000
Zv =	528.500
Rv =	-1493.782
D =	100.000
B =	0.837

Distância (m)
Escala horizontal: 1/2000

	0+000	0+100	0+200	0+300	0+400	0+500	0+600	0+700																								
Rasante	532.000	532.148	532.296	532.444	532.592	532.740	532.728	532.397	531.746	530.776	529.502	528.425	527.788	527.591	527.833	528.501	529.588	531.092	533.007	535.056	537.104	539.153	541.201	543.250	545.299	547.347	549.396	551.444	553.493	555.454	557.191	558.000
Terreno	532.000	532.1	532.3	532.4	532.5	532.7	533.3	533.6	532.4	532.1	533.0	534.7	536.9	536.8	535.8	536.9	539.9	541.4	542.6	543.7	545.0	546.2	547.6	548.9	550.1	551.3	552.5	553.7	555.0	556.1	557.4	558.0

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

A.2.3. COTAS AO EIXO NO RAMO A PARA OS PONTOS 1, 2 E 3

Ponto	Estrada Principal				Elemento	Ramo A				Diferença algébrica (%)
	PK (m)	Cota eixo (m)	Se (%)	a (m)		PK (m)	Se (%)	a (m)	Cota eixo (m)	
1	12826,466	537,407	2,5000000	12,300	Alinhamento Reto	0,000	2,5000000	0,000	537,099	0,0000000
2	12848,294	538,084	2,5000000	8,800	Alinhamento Reto	21,061	3,5969477	4,784	537,692	-1,0969477
3	12861,784	538,484	2,5000000	11,300	Alinhamento Reto	33,366	4,0000000	6,250	537,951	-1,5000000

A.2.4. COTAS AO EIXO NO RAMO B PARA OS PONTOS 1, 2 E 3

Ponto	Estrada Principal				Elemento	Ramo B				Diferença algébrica (%)
	PK (m)	Cota eixo (m)	Se (%)	a (m)		PK (m)	Se (%)	a (m)	Cota eixo (m)	
1	12981,412	541,391	2,5000000	12,300	Alinhamento Reto	138,860	2,5000000	0,000	541,083	0,0000000
2	12968,799	541,138	2,5000000	8,800	Alinhamento Reto	126,360	2,5000000	3,663	540,827	0,0000000
3	12942,717	540,576	2,5000000	11,300	Alinhamento Reto	101,579	2,5000000	5,543	540,155	0,0000000

A.2.5. COTAS AO EIXO NO RAMO C PARA OS PONTOS 1, 2 E 3

Ponto	Estrada Principal				Elemento	Ramo C				Diferença algébrica (%)
	PK (m)	Cota eixo (m)	Se (%)	a (m)		PK (m)	Se (%)	a (m)	Cota eixo (m)	
1	12723,534	533,864	2,5000000	12,300	Alinhamento Reto	0,000	2,5000000	0,000	533,556	0,0000000
2	12701,685	533,099	2,8744842	8,800	Curva de Transição	21,076	3,5976891	4,785	532,674	-0,7232049
3	12688,123	532,624	3,4828416	11,300	Curva de Transição	33,419	4,0000000	6,250	531,981	-0,5171584

A.2.6. COTAS AO EIXO NO RAMO D PARA OS PONTOS 1, 2 E 3

Ponto	Estrada Principal				Elemento	Ramo D				Diferença algébrica (%)
	PK (m)	Cota eixo (m)	Se (%)	a (m)		PK (m)	Se (%)	a (m)	Cota eixo (m)	
1	12561,667	528,198	7,0000000	12,300	Curva Circular	142,145	7,0000000	0,000	527,337	0,0000000
2	12576,639	528,722	7,0000000	8,800	Curva Circular	127,590	6,0550098	3,757	527,879	0,9449902
3	12601,047	529,577	7,0000000	11,300	Curva Circular	104,881	5,0000000	5,505	528,510	2,0000000

A.3. ESQUEMAS DE CÁLCULO

A.3.1. ESQUEMA DE CÁLCULO DOS PONTOS NOTÁVEIS DO RAMO A E A+B1

$$C_3 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_3 T_{3,A}}}{R_{3,A} + \Delta R_{3,A}} \rightarrow T_{3,A} \rightarrow \frac{\overrightarrow{T_{3,A} O_{3,A}}}{X_{m3,A}} \rightarrow O_{3,A}$$

$$C_3 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_3 P_{3,A}}}{R_{3,A}} \rightarrow P_{3,A}$$

$$C_3 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_3 T'_{3,A}}}{R_{3,A} + \Delta R_{3,A}} \rightarrow T'_{3,A} \rightarrow \frac{\overrightarrow{T'_{3,A} O'_{3,A}}}{X_{m3,A}} \rightarrow O'_{3,A}$$

$$C_3 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_3 P'_{3,A}}}{R_{3,A}} \rightarrow P'_{3,A}$$

A.3.2. ESQUEMA DE CÁLCULO DOS PONTOS NOTÁVEIS DO RAMO B

$$C_3 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_3 T'_{3,B}}}{R_{3,B} + \Delta R_{3,B}} \rightarrow T'_{3,B} \rightarrow \frac{\overrightarrow{T'_{3,B} O'_{3,B}}}{X_{m3,B}} \rightarrow O'_{3,B}$$

$$C_3 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_3 P'_{3,B}}}{R_{3,B}} \rightarrow P'_{3,B}$$

$$C_4 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_4 T_4}}{R_4 + \Delta R_4} \rightarrow T_4 \rightarrow \frac{\overrightarrow{T_4 O_4}}{X_{m4}} \rightarrow O_4$$

$$C_4 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_4 P_4}}{R_4} \rightarrow P_4$$

$$C_4 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_4 T'_4}}{R_4 + \Delta R_4} \rightarrow T'_4 \rightarrow \frac{\overrightarrow{T'_4 O'_4}}{X_{m4}} \rightarrow O'_4$$

$$C_4 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_4 P'_4}}{R_4} \rightarrow P'_4$$

A.3.3. ESQUEMA DE CÁLCULO DOS PONTOS NOTÁVEIS DO RAMO A+B2

$$C_5 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_5 T_5}}{R_5 + \Delta R_5} \rightarrow T_5 \rightarrow \frac{\overrightarrow{T_5 O_5}}{X_{m5}} \rightarrow O_5$$

$$C_5 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_5 P_5}}{R_5} \rightarrow P_5$$

$$C_5 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_5 T'_5}}{R_5 + \Delta R_5} \rightarrow T'_5 \rightarrow \frac{\overrightarrow{T'_5 O'_5}}{X_{m5}} \rightarrow O'_5$$

$$C_5 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_5 P'_5}}{R_5} \rightarrow P'_5$$

$$C_3 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_3 T_{3,A+B2}}}{R_{3,A+B2} + \Delta R_{3,A+B2}} \rightarrow T_{3,A+B2} \rightarrow \frac{\overrightarrow{T_{3,A+B2} O_{3,A+B2}}}{X_{m3,A+B2}} \rightarrow O_{3,A+B2}$$

$$C_3 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_3 P_{3,A+B2}}}{R_{3,A+B2}} \rightarrow P_{3,A+B2}$$

A.3.4. ESQUEMA DE CÁLCULO DOS PONTOS NOTÁVEIS DO RAMO C E C+D1

$$C_6 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_6 T_{6,C}}}{R_{6,C} + \Delta R_{6,C}} \rightarrow T_{6,C} \rightarrow \frac{\overrightarrow{T_{6,C} O_{6,C}}}{X_{m6,C}} \rightarrow O_{6,C}$$

$$C_6 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_6 P_{6,C}}}{R_{6,C}} \rightarrow P_{6,C}$$

$$C_6 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_6 T'_{6,C}}}{R_{6,C} + \Delta R_{6,C}} \rightarrow T'_{6,C} \rightarrow \frac{\overrightarrow{T'_{6,C} O'_{6,C}}}{X_{m6,C}} \rightarrow O'_{6,C}$$

$$C_6 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_6 P'_{6,C}}}{R_{6,C}} \rightarrow P'_{6,C}$$

A.3.5 ESQUEMA DE CÁLCULO DOS PONTOS NOTÁVEIS DO RAMO D

$$C_6 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_6 T'_{6,D}}}{R_{6,D} + \Delta R_{6,D}} \rightarrow T'_{6,D} \rightarrow \frac{\overrightarrow{T'_{6,D} O'_{6,D}}}{X_{m6,D}} \rightarrow O'_{6,D}$$

$$C_6 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_6 P'_{6,D}}}{R_{6,D}} \rightarrow P'_{6,D}$$

$$C_7 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_7 T_7}}{R_7 + \Delta R_7} \rightarrow T_7 \rightarrow \frac{\overrightarrow{T_7 O_7}}{X_{m7}} \rightarrow O_7$$

$$C_7 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_7 P_7}}{R_7} \rightarrow P_7$$

$$C_7 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_7 T'_7}}{R_7 + \Delta R_7} \rightarrow T'_7 \rightarrow \frac{\overrightarrow{T'_7 O'_7}}{X_{m7}} \rightarrow O'_7$$

$$C_7 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_7 P'_7}}{R_7} \rightarrow P'_7$$

A.3.6. ESQUEMA DE CÁLCULO DOS PONTOS NOTÁVEIS DO RAMO C+D2

$$C_8 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_8 T_8}}{R_8 + \Delta R_8} \rightarrow T_8 \rightarrow \frac{\overrightarrow{T_8 O_8}}{X_{m8}} \rightarrow O_8$$

$$C_8 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_8 P_8}}{R_8} \rightarrow P_8$$

$$C_8 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_8 T'_8}}{R_8 + \Delta R_8} \rightarrow T'_8 \rightarrow \frac{\overrightarrow{T'_8 O'_8}}{X_{m8}} \rightarrow O'_8$$

$$C_8 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_8 P'_8}}{R_8} \rightarrow P'_8$$

$$C_6 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_6 T_{6,C+D2}}}{R_{6,C+D2} + \Delta R_{6,C+D2}} \rightarrow T_{6,C+D2} \rightarrow \frac{\overrightarrow{T_{6,C+D2} O_{6,C+D2}}}{X_{m6,C+D2}} \rightarrow O'_{6,C+D2}$$

$$C_6 \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_6 P_{6,C+D2}}}{R_6} \rightarrow P_{6,C+D2}$$

A.3.7. ESQUEMA DE CÁLCULO DO TAPER EM RETA

$$A \rightarrow \frac{\overrightarrow{AA'}}{d/2} \rightarrow A' \rightarrow \frac{\overrightarrow{A'P}}{l/2} \rightarrow P$$

$$A \rightarrow \frac{\overrightarrow{AE}}{l} \rightarrow E \rightarrow \frac{\overrightarrow{EC_A}}{R_A} \rightarrow C_A$$

$$A \rightarrow \frac{\overrightarrow{AB}}{d} \rightarrow B \rightarrow \frac{\overrightarrow{BC_B}}{R_B} \rightarrow C_B$$

A.3.8. ESQUEMA DE CÁLCULO DO TAPER EM CURVA

$$C_{EP} \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_{EP}A}}{R_{EP}} \rightarrow A$$

$$C_{EP} \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_{EP}C_A}}{R_{EP} + R_A} \rightarrow C_A$$

$$C_{EP} \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_{EP}C_{A'}}}{R_{EP}} \rightarrow C_{A'}$$

$$C_{EP} \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_{EP}P}}{R_{EP} + l/2} \rightarrow P$$

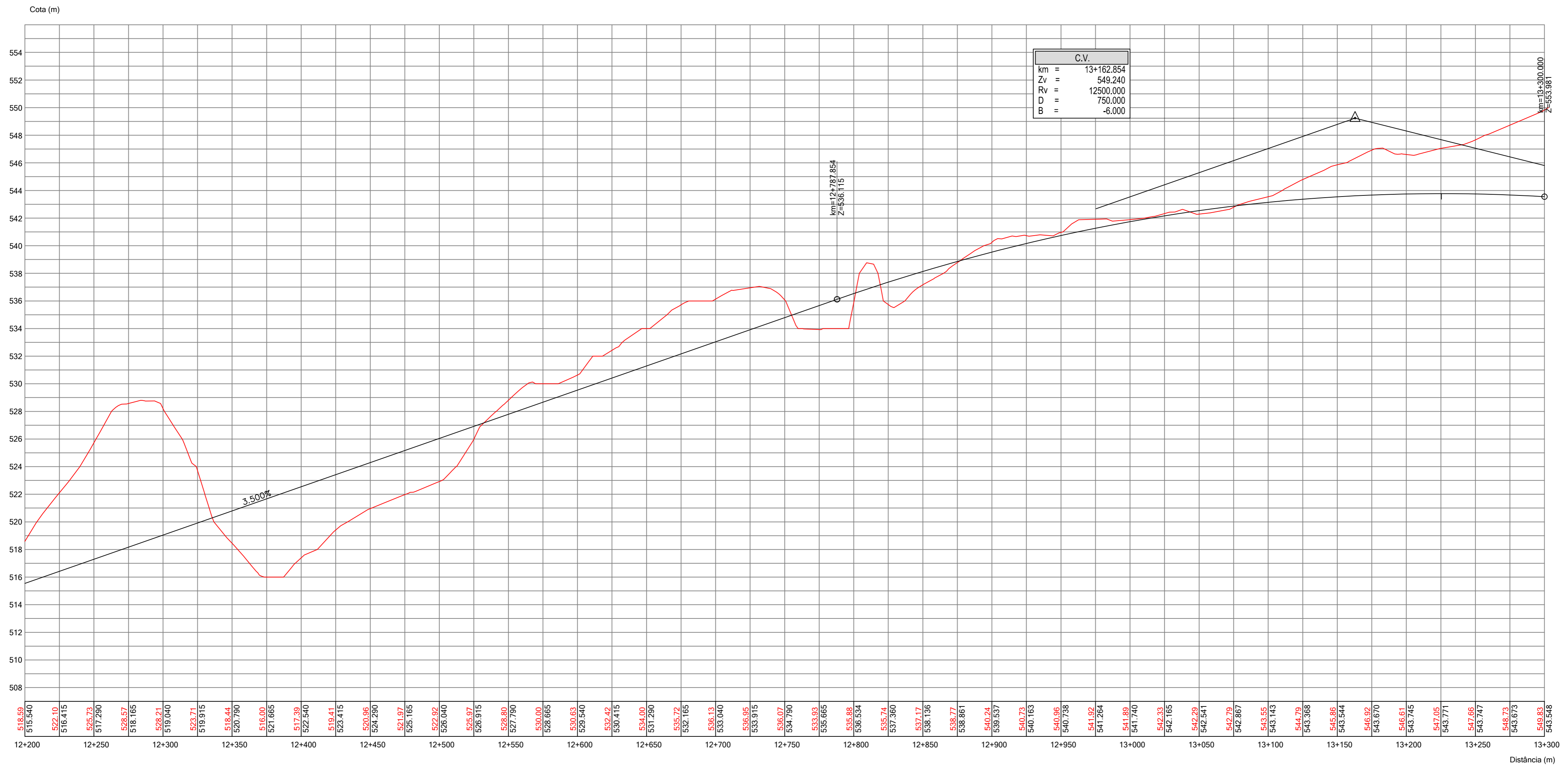
$$C_{EP} \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_{EP}B}}{R_{EP} + l} \rightarrow B$$

$$C_{EP} \rightarrow \frac{\overrightarrow{C_{EP}C_B}}{R_{EP} - R_B} \rightarrow C_B$$

PEÇAS DESENHADAS



Solo: Cultivo Olival Pomar Searas Sobreiros Vinhas	Unidades:	Designação: Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto Planta Topográfica (Dados iniciais) Estrada Principal do PK 12+300 ao PK 13+150	Escala : 1/2000	
	R - m		Autor:	Orientador:
	A - m		Vitor Andrade	Prof. Dr. Adalberto França
	(M, P) - (m, m)		Data:	Desenho nº:
			Julho 2012	1/16



C.V.	
km =	13+162.854
Zv =	549.240
Rv =	12500.000
D =	750.000
B =	-6.000

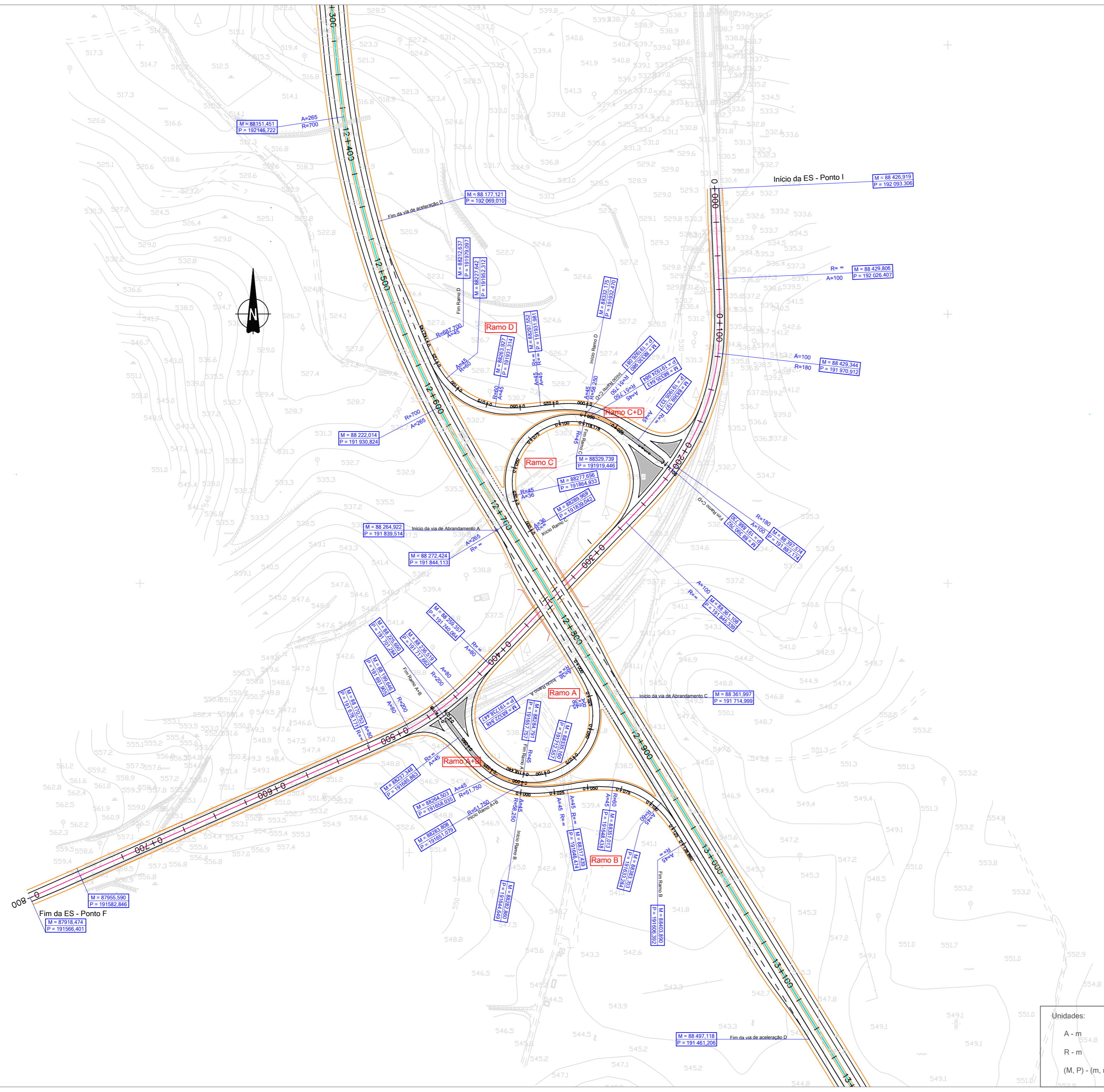
km=12+787.854
Z=536.115

3.500%

Distância (m)

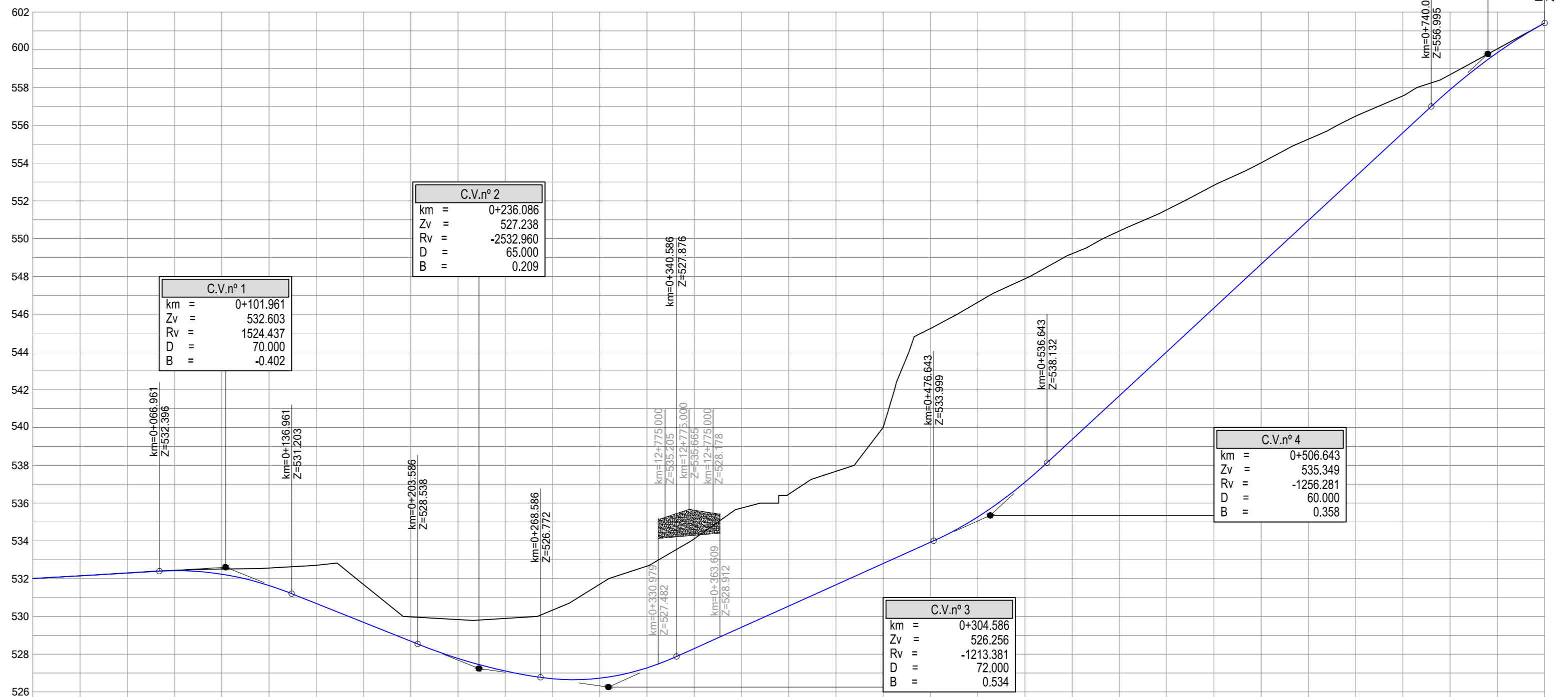
518.59 515.540 522.10 516.415 525.73 517.290 528.57 518.165 528.21 519.040 523.71 519.915 518.44 520.790 516.00 521.665 517.39 522.540 519.41 523.415 520.96 524.290 521.97 525.165 522.92 526.040 525.97 526.915 528.80 527.790 530.00 528.665 530.63 529.540 532.42 530.415 534.00 531.290 535.72 532.165 536.13 533.040 536.95 533.915 536.07 534.790 533.93 535.665 535.88 536.534 535.74 537.360 537.17 538.136 538.77 538.861 540.24 539.537 540.73 540.163 540.96 540.738 541.92 541.264 541.89 541.740 542.33 542.165 542.29 542.541 542.79 542.867 543.55 543.143 544.79 543.368 545.86 543.544 546.92 543.670 546.61 543.745 547.05 543.771 547.66 543.747 548.73 543.673 549.83 543.548

Designação: Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto Perfil Longitudinal (Dados iniciais) Estrada Principal do PK 12+200 ao PK 13+300	Escala horizontal: 1/2000	
	Escala vertical: 1/200	
	Autor: Vitor Andrade	Orientador: Prof. Dr. Adalberto França
	Data: Julho 2012	Desenho nº: 2/16



Unidades: A - m R - m (M, P) - (m, m)	Designação: Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto Planta Geral Estrada Secundária do PK 0+000 ao PK 0+800	Escala : 1/2000	
		Autor: Vitor Andrade	Orientador: Prof. Dr. Adalberto França
		Data: Julho 2012	Desenho nº: 3/16

Cotas (m)
Escala 1/200



QUILOMETRAGEM		0+000	0+100	0+200	0+300	0+400	0+500	0+600	0+700	0+759.404	0+800																							
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE (m)	532.000	532.148	532.296	532.423	532.234	531.635	530.682	529.682	528.682	527.772	527.107	526.697	526.729	527.275	528.300	529.425	530.550	531.675	532.800	533.925	535.267	537.106	539.371	541.690	544.009	546.328	548.647	550.966	553.285	555.604	557.891	559.852	561.414
	COTAS DO TERRENO (m)	532.0	532.1	532.3	532.4	532.5	532.6	532.7	531.7	530.0	529.8	529.9	530.3	531.7	532.7	534.1	535.7	536.5	537.7	540.0	545.2	546.6	547.9	549.2	550.4	551.7	552.8	554.0	555.3	556.5	557.6	558.7	560.1	561.4
ELEMENTOS DA RASANTE		i = 0.5918577 E = 66.961		Rv = 1524.437 D = 70.000		i = -4.0000000 E = 66.625		Rv = -2532.960 D = 65.000		Rv = -1213.381 D = 72.000		i = 4.5000000 E = 136.057		Rv = -1256.281 D = 60.000		i = 9.2760000 E = 203.357		Rv = 1569.738 D = 60.000																
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)	2.5%		4.0%		4.0%		2.5%		2.5%		2.5%		4.0%		4.0%		2.5%		2.5%		2.5%		2.5%		2.5%		2.5%		2.5%		2.5%		
	PONTOS NOTÁVEIS	0+037.794 0+066.961		0+122.517		0+213.030		0+268.586 0+297.752		0+385.829 0+414.996		0+446.996		0+492.070 0+524.070		0+553.237																		
	DIAGRAMA DE CURVAS	L=66.691 R=∞		L=55.556 A=100.000		R=180.000 D=90.514		L=55.556 A=100.000		L=146.410 R=∞		L=32.000 A=80.000		R=200.000 D=45.074		L=32.000 A=80.000		L=275.930 R=∞																

C.V.nº 5	
km =	0+770.000
Zv =	559.778
Rv =	1569.738
D =	60.000
B =	-0.287

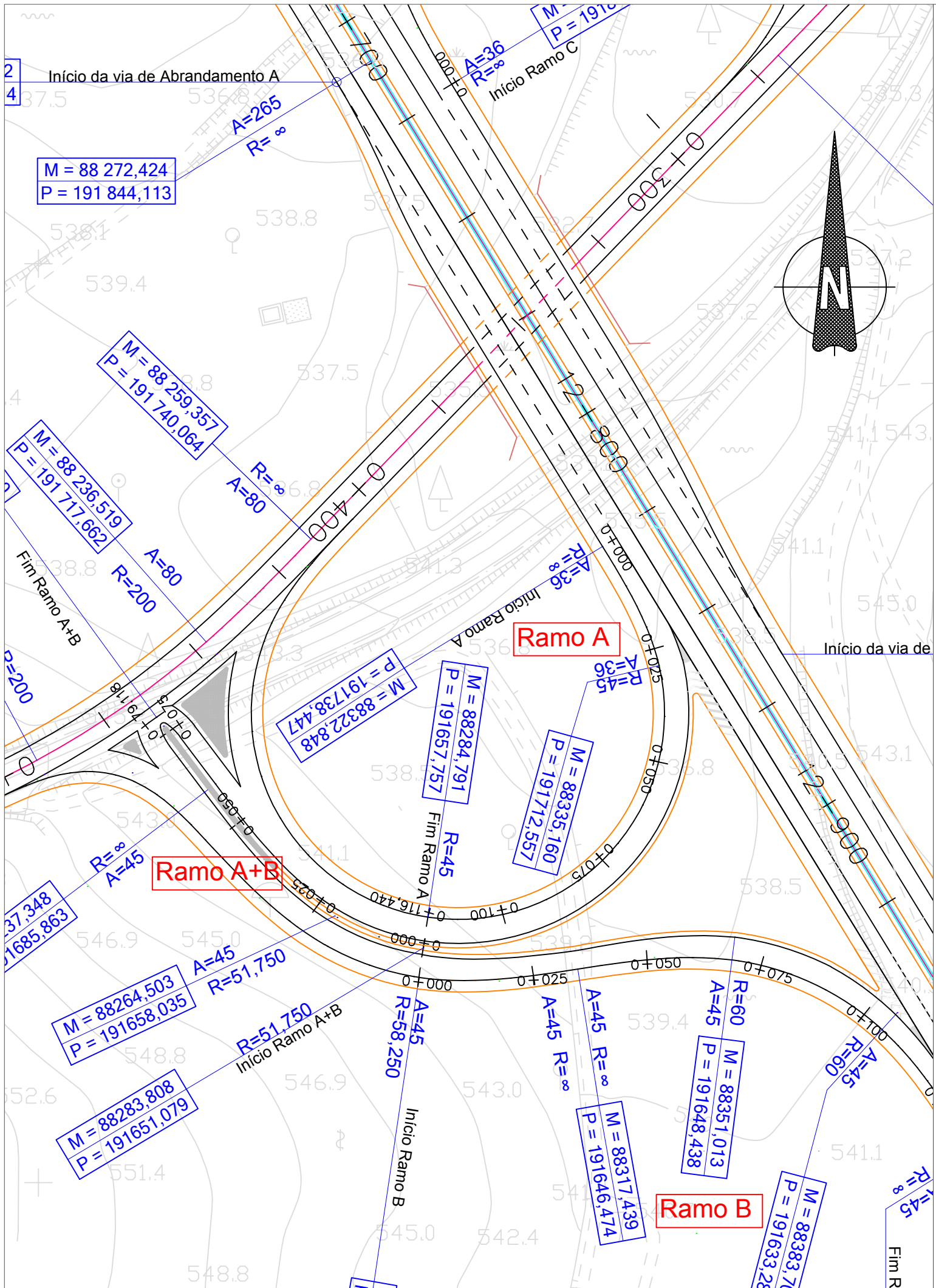
C.V.nº 2	
km =	0+236.086
Zv =	527.238
Rv =	-2532.960
D =	65.000
B =	0.209

C.V.nº 1	
km =	0+101.961
Zv =	532.603
Rv =	1524.437
D =	70.000
B =	-0.402

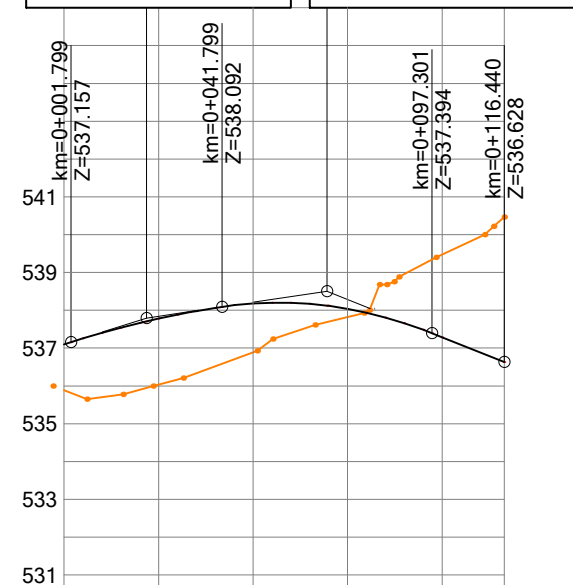
C.V.nº 4	
km =	0+506.643
Zv =	535.349
Rv =	-1256.281
D =	60.000
B =	0.358

C.V.nº 3	
km =	0+304.586
Zv =	526.256
Rv =	-1213.381
D =	72.000
B =	0.534

Unidades: i - % A - m L - m R - m D - m (M, P) - (m, m)	Designação: Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto Perfil Longitudinal Estrada Secundária do PK 0+000 ao PK 0+800	Escala horizontal : 1/2000 Escala vertical : 1/200	
		Autor: Vitor Andrade	Orientador: Prof. Dr. Adalberto França
		Data: Julho 2012	Desenho nº: 4/16



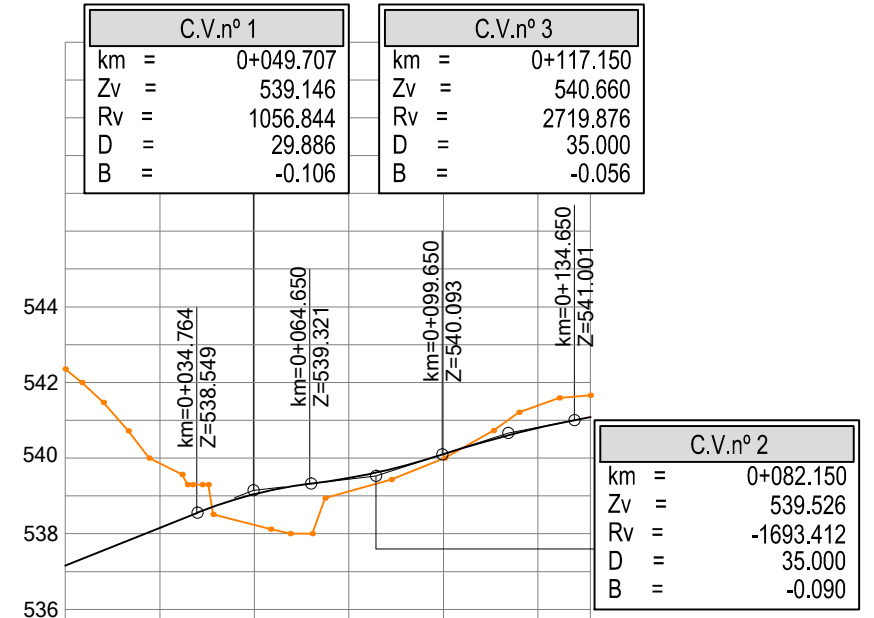
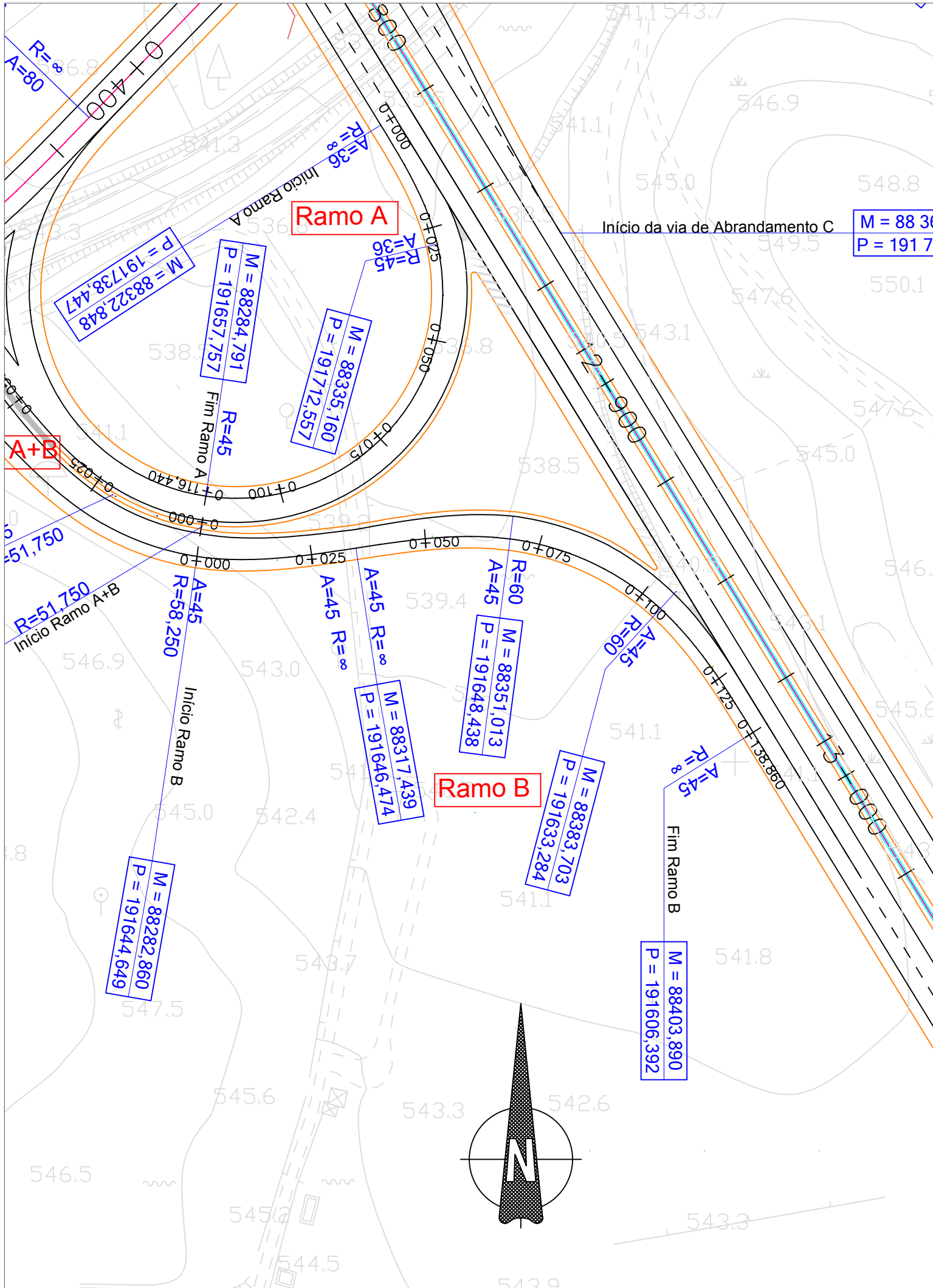
C.V.nº 1		C.V.nº 2	
km =	0+021.799	km =	0+069.550
Zv =	537.795	Zv =	538.504
Rv =	2343.226	Rv =	1012.164
D =	40.000	D =	55.502
B =	-0.085	B =	-0.380



QUILOMETRAGEM		0+000	0+100
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE (m)	537.099	537.286
	COTAS DO TERRENO (m)	535.9	540.5
	ELEMENTOS DA RASANTE	① Rv = 2343.226 D = 40.000	Rv = 1012.553 D = 55.529 i = -4.00000 E = 19.112
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)	2.5%	4.0%
	PONTOS NOTÁVEIS	0+028.800	
	DIAGRAMA DE CURVAS	L = 28.800 A = 36.000 R = 45.000 D = 87.640	

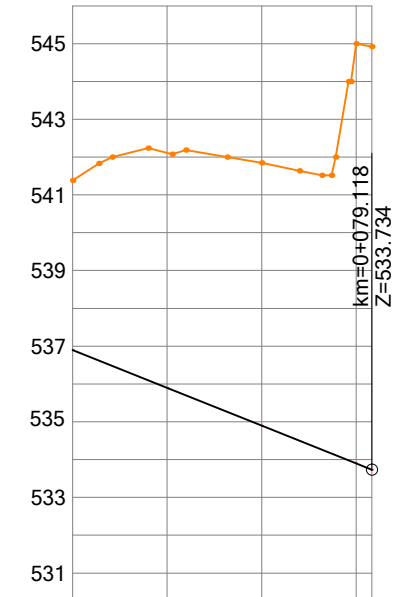
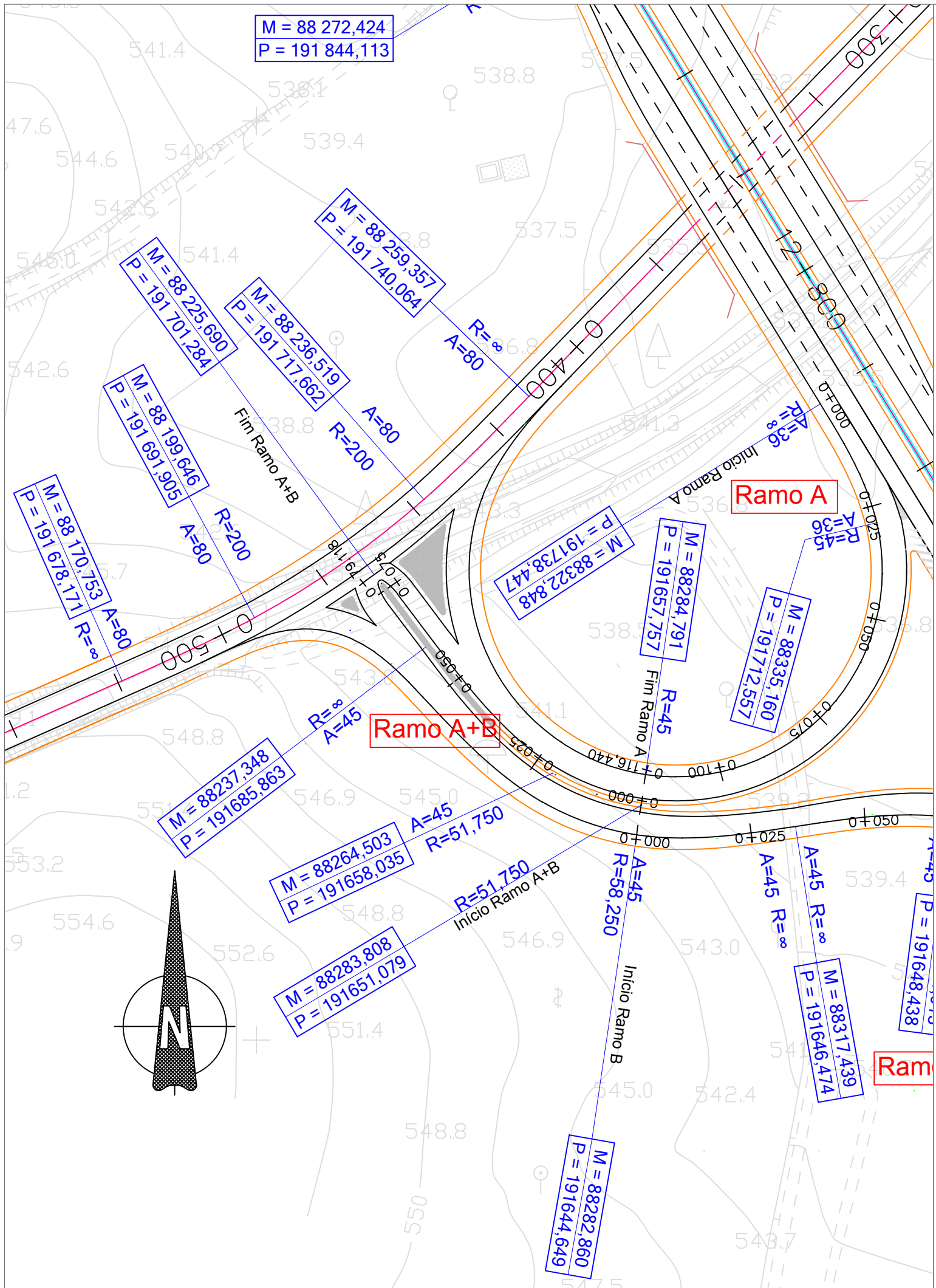
① i = 3.1911003
E = 1.799

Unidades: i - % A - m L - m R - m D - m (M, P) - (m, m)	Designação: Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto Planta de Localização e Perfil Longitudinal Ramo A do PK 0+000 ao PK 0+116,440	Escala planta : 1/1000 Escala perfil horizontal : 1/2000 Escala perfil vertical : 1/200	
		Autor: Vitor Andrade	Orientador: Prof. Dr. Adalberto França
		Data: Julho 2012	Desenho nº: 5/16



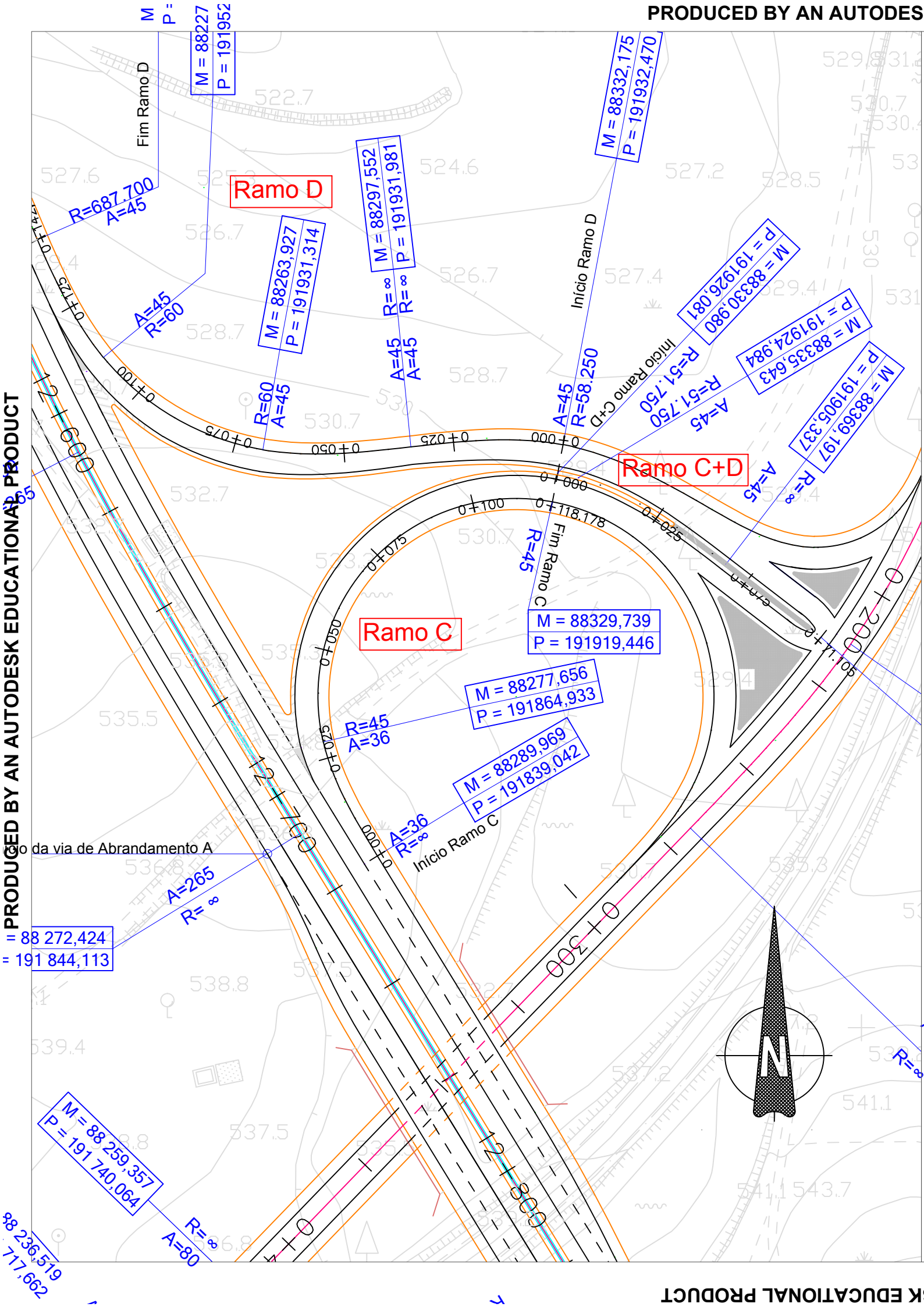
QUILOMETRAGEM		0+000		0+100		0+138.860
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE (m)	537.158	538.158	539.048	539.474	540.104
	COTAS DO TERRENO (m)	542.4	539.9	538.2	539.1	540.0
	ELEMENTOS DA RASANTE	i = 3.9994025 E = 34.764		Rv = 1056.844 D = 29.886		Rv = -1693.412 D = 35.000
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)	4.0%		2.5%		2.5%
	PONTOS NOTÁVEIS	0+034.764		0+068.514	0+105.110	
	DIAGRAMA DE CURVAS	L=34.764 A=45.000		L=33.750 A=45.000 R = 60.000		L=33.750 A=45.000

Unidades: i - % A - m L - m R - m D - m (M, P) - (m, m)	Rv - m E - m	Designação: Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto		Escala planta : 1/1000 Escala perfil horizontal : 1/2000	
		Planta de Localização e Perfil Longitudinal		Autor: Vitor Andrade	Orientador: Prof. Dr. Adalberto França
		Ramo B do PK 0+000 ao PK 0+138,860		Data: Julho 2012	Desenho nº: 6/16



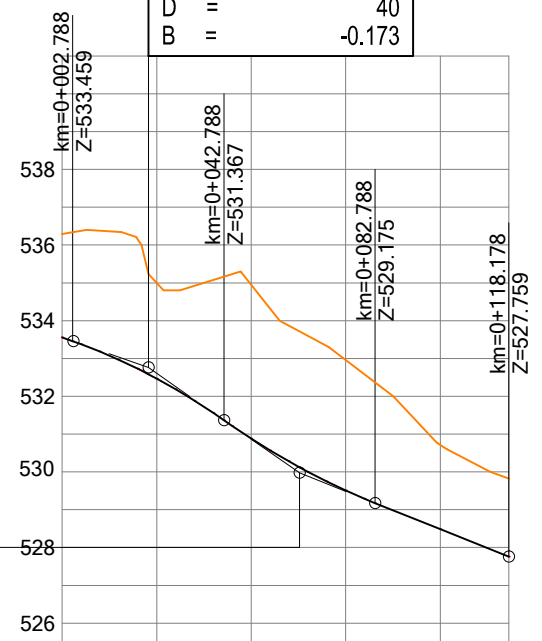
		QUILOMETRAGEM	0+000		0+79.118
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE (m)		536.898	535.898	534.899
	COTAS DO TERRENO (m)		541.4	542.1	541.8
	ELEMENTOS DA RASANTE		i = -3.9994025% E = 79.118 m		
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)		Diagrama detalhado da sobrelevação - Intersecção 2		
	PONTOS NOTÁVEIS		0+020.656		0+059.787
	DIAGRAMA DE CURVAS		L=39.130 A=45.000 R = 51.750 D = 20.656 L = 19.332 R = ∞		

Unidades: i - % A - m L - m R - m D - m (M, P) - (m, m)	Designação: Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto Planta de Localização e Perfil Longitudinal Ramo A+B do PK 0+000 ao PK 0+79,118	Escala planta : 1/1000	
		Escala perfil horizontal : 1/2000	
		Escala perfil vertical : 1/200	
		Autor: Vitor Andrade	Orientador: Prof. Dr. Adalberto França
	Data: Julho 2012	Desenho nº: 7/16	



C.V.nº 2	
km =	0+062.788
Zv =	529.975
Rv =	-1351.383
D =	40
B =	0.148

C.V.nº 1	
km =	0+022.788
Zv =	532.759
Rv =	1156.092
D =	40
B =	-0.173

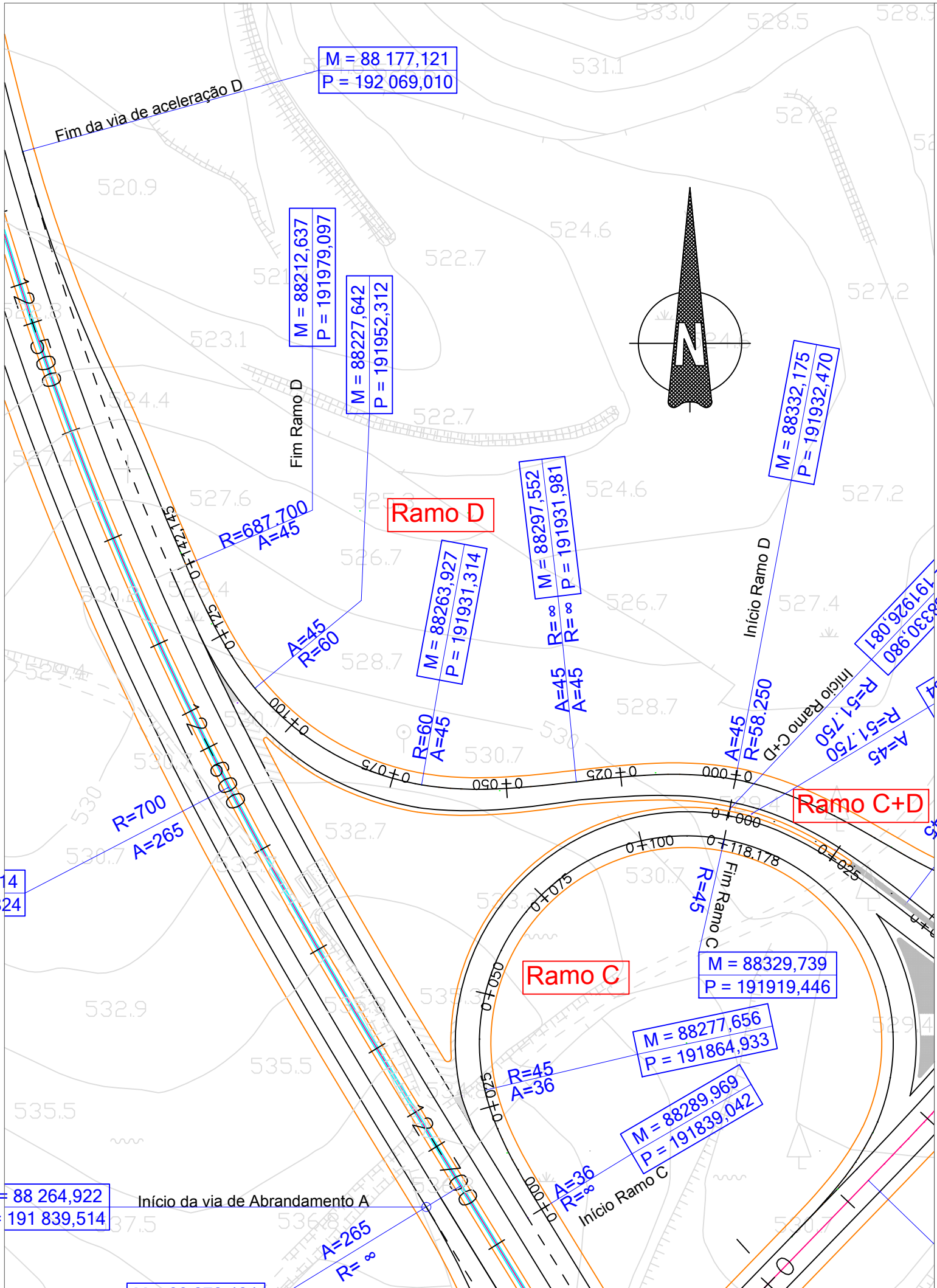


		QUILOMETRAGEM		0+000	0+100		
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE (m)	533.556	532.468	530.884	529.509	528.486	527.759
	COTAS DO TERRENO (m)	536.3	535.0	534.9	533.0	530.7	529.7
	ELEMENTOS DA RASANTE	(2)	Rv = 1156.092 D = 40.000	Rv = -1351.383 D = 40.000	i = -4.000 E = 35.389	(2)	i = 3.5000000 E = 2.788
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)	2.5%	4.0%			4.0%	
	PONTOS NOTÁVEIS		0+028.800				
	DIAGRAMA DE CURVAS		L=28.800 A=36.000		R = 45.000 D = 89.378		

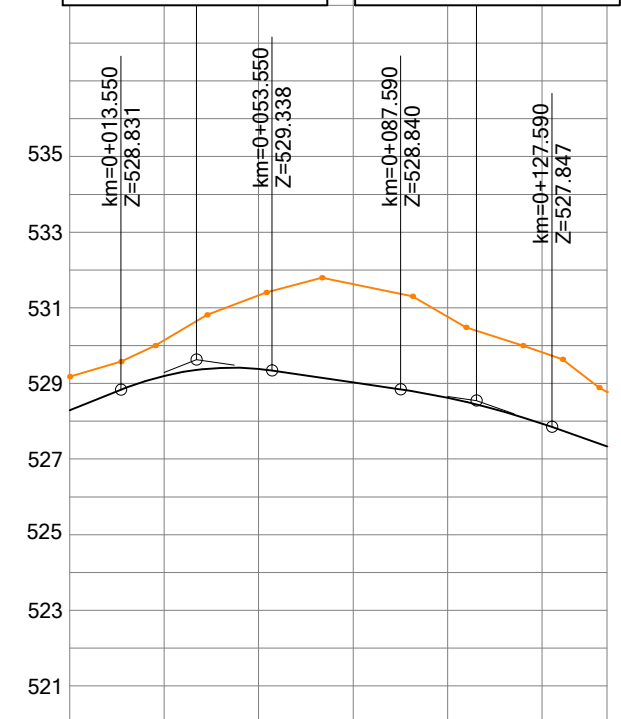
Unidades:	Rv - m
i - %	E - m
A - m	
L - m	
R - m	
D - m	
(M, P) - (m, m)	

Designação:
 Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto
 Planta de Localização e Perfil Longitudinal
 Ramo C do PK 0+000 ao PK 0+118,178

Escala planta : 1/1000	
Escala perfil horizontal : 1/2000	
Escala perfil vertical : 1/200	
Autor: Vitor Andrade	Orientador: Prof. Dr. Adalberto França
Data: Julho 2012	Desenho nº: 8/16

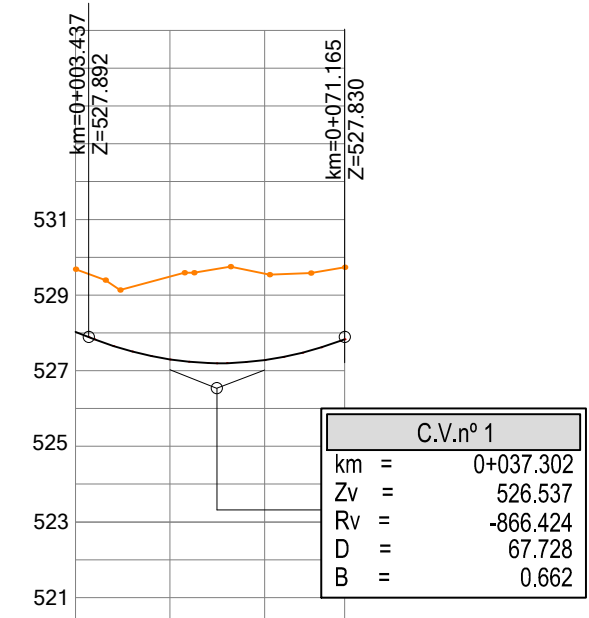
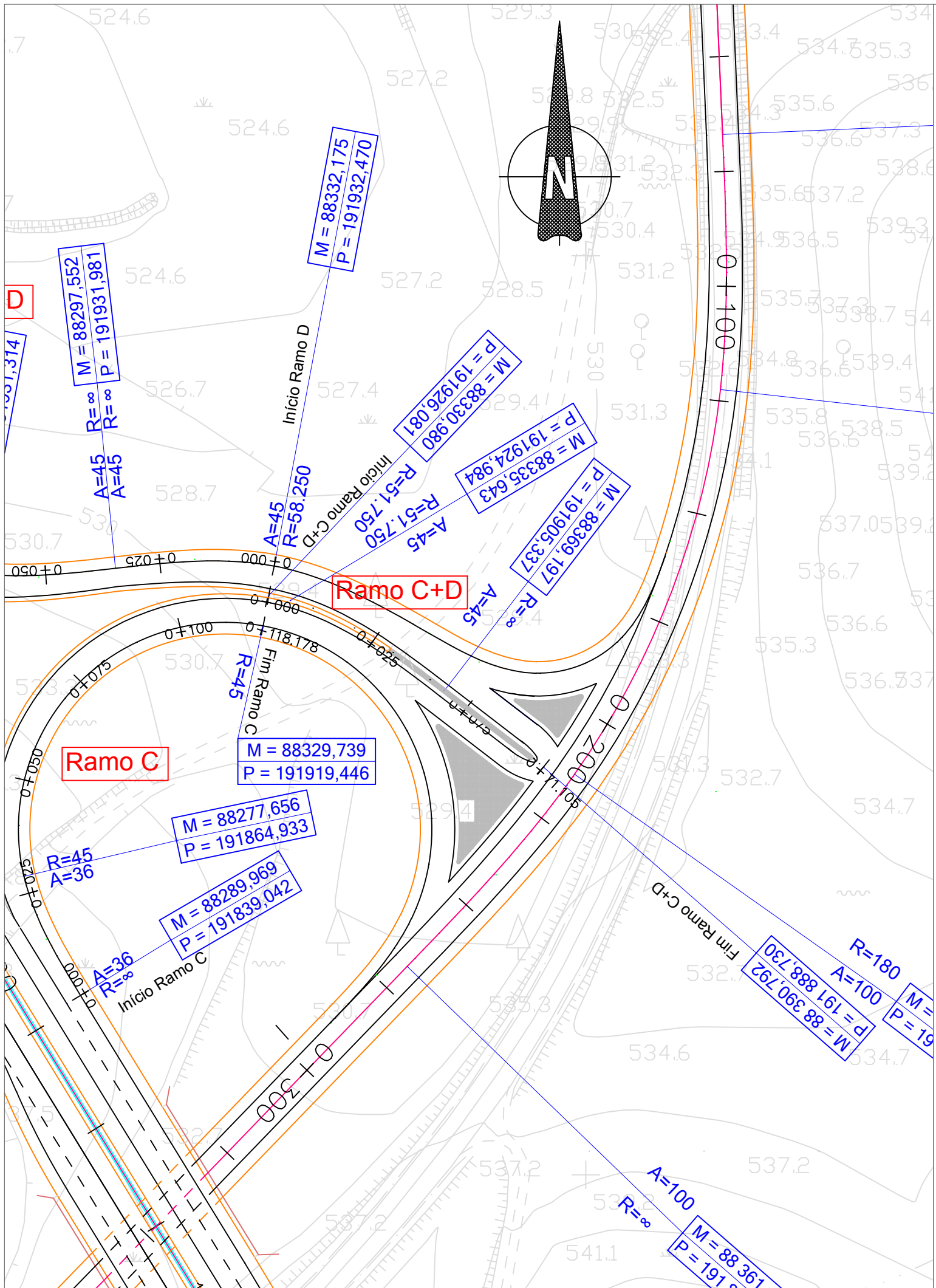


C.V.nº 1		C.V.nº 2	
km =	0+033.550	km =	0+107.590
Zv =	529.631	Zv =	528.547
Rv =	732.009	Rv =	1965.039
D =	40	D =	40
B =	-0.273	B =	-0.102



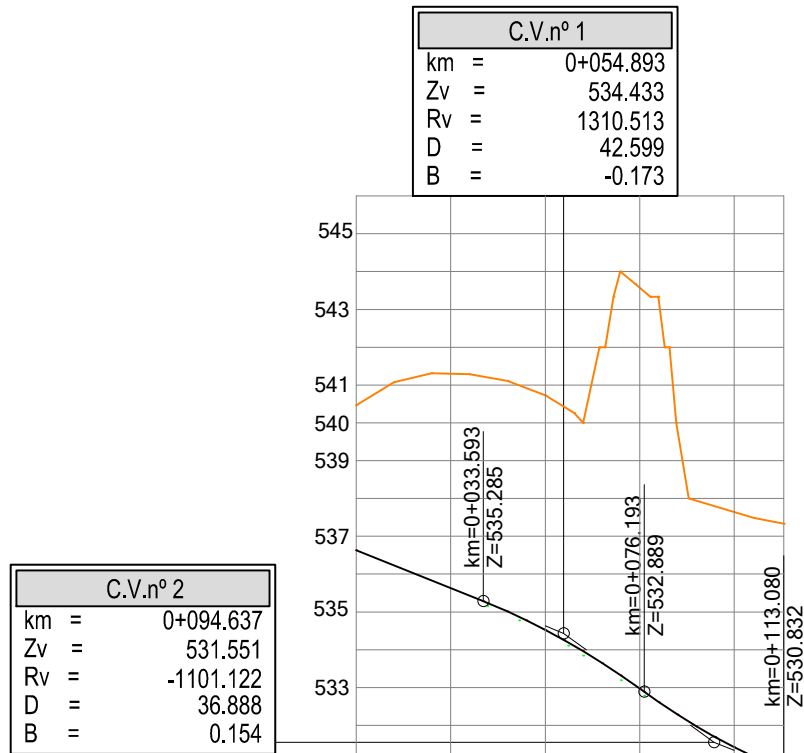
		QUILOMETRAGEM		
		0+000	0+100	0+142.145
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE (m)	528.289	529.200	529.382
	COTAS DO TERRENO (m)	529.2	530.1	531.3
	ELEMENTOS DA RASANTE	i = 4.000 E = 13.550	Rv = 732.009 D = 40.000	i = -1.4644170 E = 34.040
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)	4.0%	5.0%	5.0%
	PONTOS NOTÁVEIS		0+034.764	0+068.514
	DIAGRAMA DE CURVAS	L=34.764 A=45.000	L=33.750 A=45.000	L=30.805 A=45.000

Unidades: i - % A - m L - m R - m D - m (M, P) - (m, m)	Rv - m E - m	Designação: Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto		Escala planta : 1/1000 Escala perfil horizontal : 1/2000 Escala perfil vertical : 1/200	
		Planta de Localização e Perfil Longitudinal		Autor: Vitor Andrade	Orientador: Prof. Dr. Adalberto França
		Ramo D do PK 0+000 ao PK 0+142,145		Data: Julho 2012	Desenho nº: 9/16



QUILOMETRAGEM		0+000	0+71.165
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE (m)	528.029	527.297 527.280 527.830
	COTAS DO TERRENO (m)	529.7	529.5 529.6 529.7
	ELEMENTOS DA RASANTE	3	Rv = -866.424 D = 67.728
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)	Diagrama detalhado da sobreelevação - Intersecção 1	
	PONTOS NOTÁVEIS	0+004.792	0+043.922
	DIAGRAMA DE CURVAS	4	L=39.130 A=45.000 L=27.243 R=00

Unidades: i - % A - m L - m R - m D - m (M, P) - (m, m)	Designação: Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto Planta de Localização e Perfil Longitudinal Ramo C+D do PK 0+000 ao PK 0+071,105	Escala planta : 1/1000	
		Escala perfil horizontal : 1/2000	
		Escala perfil vertical : 1/200	
		Autor: Vitor Andrade	Orientador: Prof. Dr. Adalberto França
		Data: Julho 2012	Desenho nº: 10/16



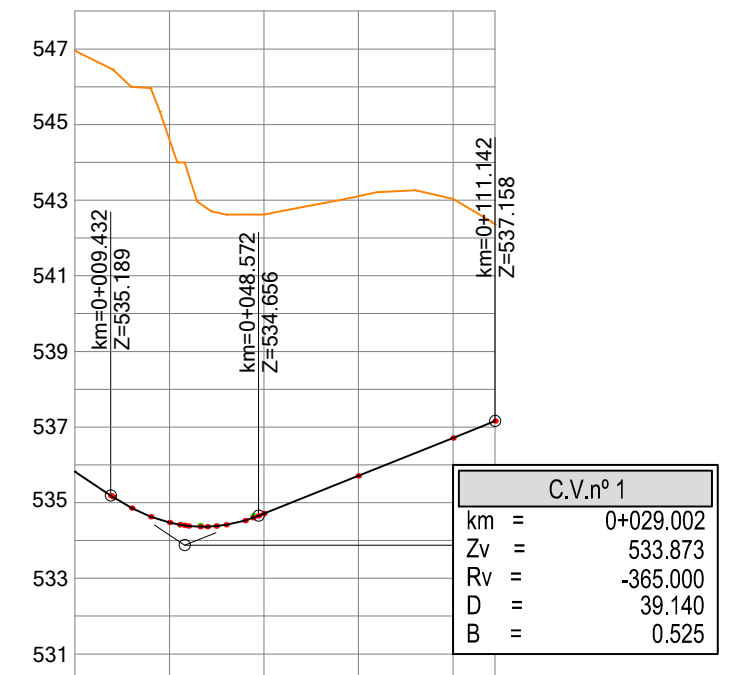
C.V.nº 2	
km =	0+094.637
Zv =	531.551
Rv =	-1101.122
D =	36.888
B =	0.154

QUILOMETRAGEM		0+000	0+100
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE (m)	536.628	530.832
	COTAS DO TERRENO (m)	540.5	537.3
	ELEMENTOS DA RASANTE	i = -3.9994025 E = 33.593 Rv = 1310.513 D = 42.599 Rv = -1101.122 D = 36.888	
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)	Diagrama detalhado da sobrelevação - Intersecção 2	
	PONTOS NOTÁVEIS	0+084.280	
	DIAGRAMA DE CURVAS	R = 45.000 m L = 28.800 m D = 84.280 m A = 36.000 m	

Unidades:	i - % Rv - m A - m E - m L - m R - m D - m
-----------	--

Designação:
Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto
Perfil Longitudinal
Ramo A+B1 do PK 0+000 ao PK 0+113,080

Escala perfil horizontal : 1/2000
Escala perfil vertical : 1/200
Autor: Vítor Andrade Orientador: Prof. Dr. Adalberto França
Data: Julho 2012 Desenho nº: 11/16



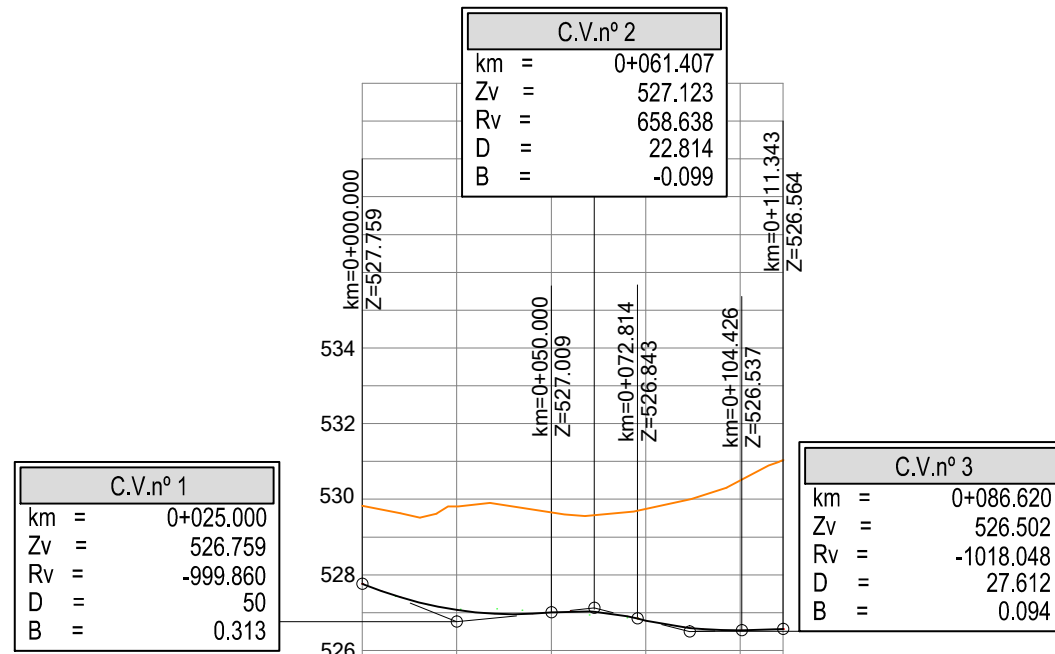
C.V.nº 1	
km =	0+029.002
Zv =	533.873
Rv =	-365.000
D =	39.140
B =	0.525

QUILOMETRAGEM		0+000	0+100
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE (m)	535.823	537.158
	COTAS DO TERRENO (m)	547.0	542.4
	ELEMENTOS DA RASANTE	6 Rv = -365.000 i = 3.9994025 D = 39.140 E = 62.570 6 i = -6.7239375 E = 9.432	
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)	Diagrama detalhado da sobrelevação - Intersecção 2	
	PONTOS NOTÁVEIS	0+022.977 0+054.526 0+089.290	
	DIAGRAMA DE CURVAS	7 L= 20.250 L= 20.250 A=22.500 A=22.500 R = 25.000 R = 58.250 D = 11.299 L= 34.764 D = 21.852 L= 1.349 A=22.500 L= 1.378 R = oo	

Unidades:	i - % Rv - m A - m E - m L - m R - m D - m
-----------	--

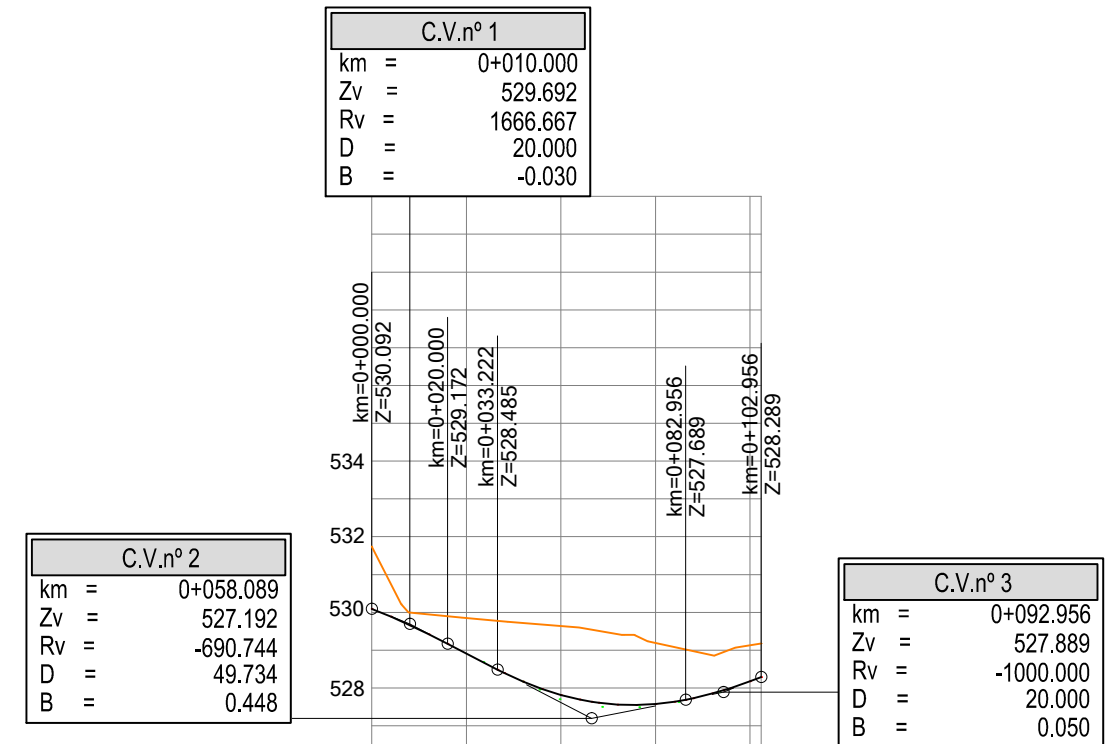
Designação:
Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto
Perfil Longitudinal
Ramo A+B2 do PK 0+000 ao PK 0+111,142

Escala perfil horizontal : 1/2000
Escala perfil vertical : 1/200
Autor: Vítor Andrade Orientador: Prof. Dr. Adalberto França
Data: Julho 2012 Desenho nº: 12/16



QUILOMETRAGEM		0+000				0+100
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE (m)	527.759	527.072	527.009	526.791	526.536
	COTAS DO TERRENO (m)	529.8	529.8	529.7	529.7	530.5
	ELEMENTOS DA RASANTE	Rv = -999.860 D = 50.000 m		Rv = 658.638 D = 22.814	Rv = -1018.048 D = 27.612	8
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)	Diagrama detalhado da sobre-elevação - Intersecção 1				
	PONTOS NOTÁVEIS	0+082.543				
	DIAGRAMA DE CURVAS	R = 45.000 D = 82.543		L=28.800 A=36.000		

8 i = -0.2490652
E = 10.917

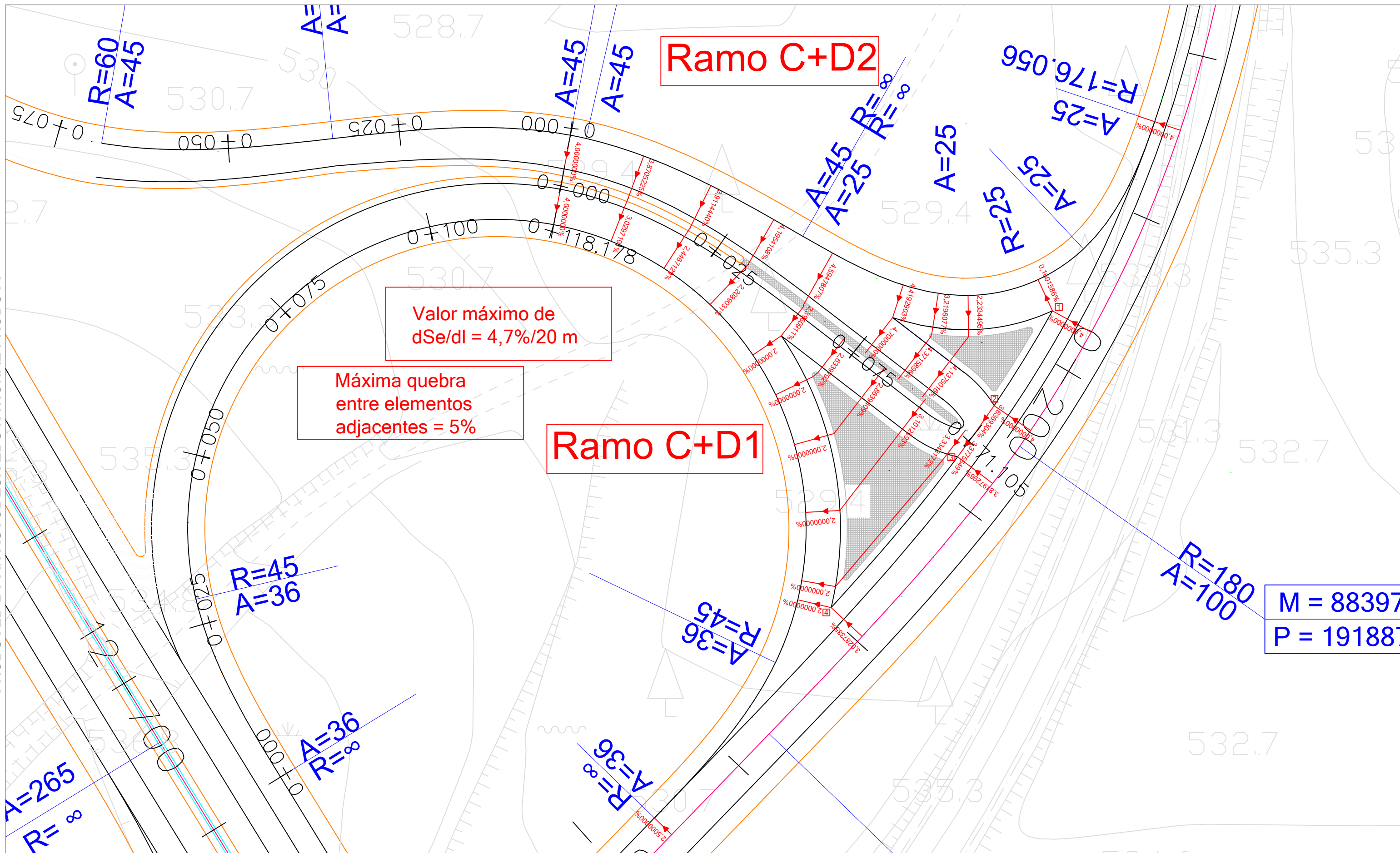


QUILOMETRAGEM		0+000				0+100
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE (m)	530.092	528.912	527.816	527.576	528.175
	COTAS DO TERRENO (m)	531.7	529.9	529.6	529.2	529.1
	ELEMENTOS DA RASANTE	8	9	Rv = -690.744 D = 49.734		10
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)	Diagrama detalhado da sobre-elevação - Intersecção 1				
	PONTOS NOTÁVEIS	0+040.886		0+065.886		0+100.650
	DIAGRAMA DE CURVAS	L=21.450 A=25.000	L=25.000 A=25.000		L=34.764 A=45.000	

8 Rv = 1666.667
D = 20.000
9 i = -5.2000000
E = 13.222
10 Rv = -1000.000
D = 20.000
11 R = 58.250
D = 2.306

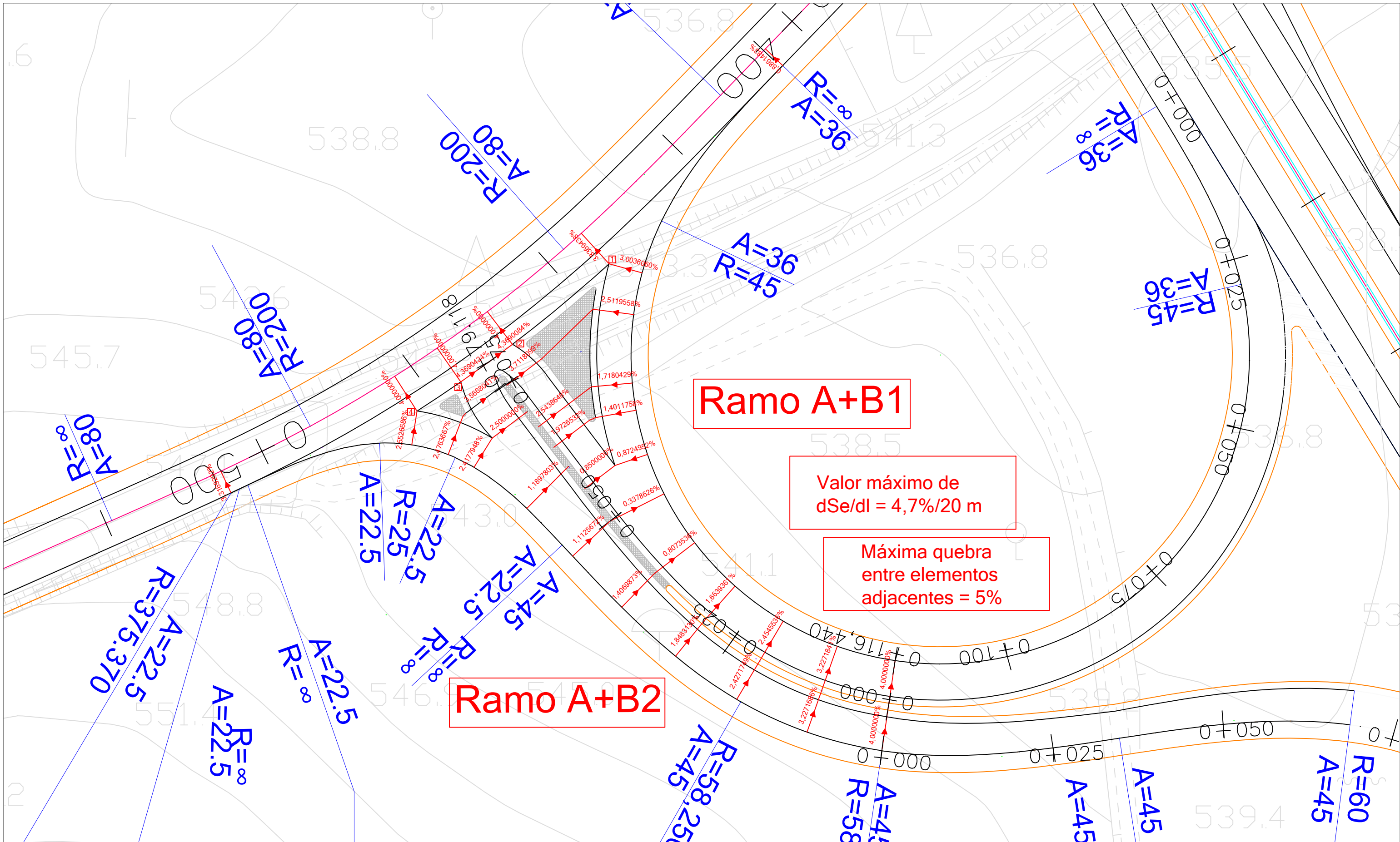
Unidades: i - % A - m L - m R - m D - m	Rv - m E - m	Designação:	Escala perfil horizontal : 1/2000 Escala perfil vertical : 1/200	
		Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto	Autor:	Orientador:
		Perfil Longitudinal	Vítor Andrade	Prof. Dr. Adalberto França
		Ramo C+D1 do PK 0+000 ao PK 0+111,343	Data:	Desenho nº:
			Julho 2012	13/16

Unidades: i - % A - m L - m R - m D - m (M, P) - (m, m)	Rv - m E - m	Designação:	Escala perfil horizontal : 1/2000 Escala perfil vertical : 1/200	
		Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto	Autor:	Orientador:
		Perfil Longitudinal	Vítor Andrade	Prof. Dr. Adalberto França
		Ramo C+D2 do PK 0+000 ao PK 0+102,956	Data:	Desenho nº:
			Julho 2012	14/16



M = 88397
P = 191887

Designação: Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto Diagrama detalhado de sobreelevações - Intersecção 1	Escala : 1/500	
	Autor: Vitor Andrade	Orientador: Prof. Dr. Adalberto França
	Data: Julho 2012	Desenho nº: 15/16



Ramo A+B1

Valor máximo de
dSe/dl = 4,7%/20 m

Máxima quebra
entre elementos
adjacentes = 5%

Ramo A+B2

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Designação: Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Meio-Trevo Incompleto Diagrama detalhado de sobrelevações - Intersecção 2	Escala : 1/500	
	Autor: Vitor Andrade	Orientador: Prof. Dr. Adalberto França
	Data: Julho 2012	Desenho nº: 16/16