



# NORMA DE TRAÇADO

## Revisão

# DOCUMENTO BASE



Instituto de Infra-Estruturas  
Rodoviárias IP

DOCUMENTO BASE

Revisão da  
**NORMA DE TRAÇADO**  
Novembro de 2010

# DOCUMENTO BASE



## ÍNDICE

I – INTRODUÇÃO .....	1
I.1. ÂMBITO .....	1
I.2. OBJECTIVOS .....	1
I.3. APLICAÇÃO .....	2
II – ELEMENTOS BÁSICOS .....	3
II.1. CATEGORIA DA ESTRADA .....	3
II.2. TRÁFEGO .....	3
II.2.1. Nível de serviço .....	3
II.2.2. Volume horário de projecto .....	4
II.3. ACESSOS MARGINAIS .....	5
II.3.1. Controlo de acessos .....	5
II.3.2. Facilidades para peões .....	5
II.4. INTEGRAÇÃO PAISAGÍSTICA .....	6
II.5. VELOCIDADE .....	7
II.5.1. Generalidades .....	7
II.5.2. Velocidade base .....	8
II.5.3. Velocidade do tráfego .....	9
II.6. VISIBILIDADE .....	11
II.6.1. Generalidades .....	11
II.6.2. Distância de visibilidade de paragem .....	11
II.6.3. Distância de visibilidade de decisão .....	12
II.6.4. Distância de visibilidade de ultrapassagem .....	13
III – GEOMETRIA .....	14
III.1 - TRAÇADO EM PLANTA .....	14
III.1.1. GENERALIDADES .....	14
III.1.2. ALINHAMENTOS RECTOS .....	14
III.1.3. CURVAS CIRCULARES .....	15
III.1.3.1. Introdução .....	15
III.1.3.2. Estimativa da velocidade não impedida em curva .....	15
III.1.3.3. Raios mínimos absolutos (RA) .....	17
III.1.3.4. Raios mínimos normais (RN) .....	18
III.1.3.5. Homogeneidade de traçado .....	19
III.1.4. CURVAS DE TRANSIÇÃO .....	22
III.1.4.1. Funções e parâmetros de cálculo .....	22
III.1.4.2. Aplicações .....	26
III.1.5. CONDIÇÕES DE SEGURANÇA E COMODIDADE .....	30
III.1.5.1. Generalidades .....	30
III.1.5.2. Visibilidade em curva .....	30
III.1.5.3. Extensão mínima das curvas .....	31
III.1.5.4. Intersecções .....	32
III.1.5.5. Integração no meio ambiente .....	32
III.2 - TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL .....	33
III.2.1. GENERALIDADES .....	33
III.2.2. TRAINÉIS .....	33
III.2.2.1. Inclinação máxima .....	33
III.2.2.2. Inclinação mínima .....	34
III.2.2.3. Extensão crítica dos trainéis .....	34
III.2.3. CONCORDÂNCIAS VERTICAIS .....	36
III.2.3.1. Generalidades .....	36
III.2.3.2. Concordâncias convexas .....	37
III.2.3.3. Concordâncias côncavas .....	38
III.2.4. VIAS ADICIONAIS .....	39
III.2.4.1. Transições .....	40

III.2.4.2 Vias adicionais em rampa .....	41
III.2.4.3 Vias adicionais em declive .....	42
III.2.4.3 Vias adicionais de ultrapassagem .....	43
III.2.5. ESCAPATÓRIAS PARA OS VEÍCULOS PESADOS NOS DECLIVES .....	43
III.2.6. ÁREAS DE VERIFICAÇÃO DE TRAVÕES .....	46
III.3 - COORDENAÇÃO DO TRAÇADO EM PLANTA E EM PERFIL LONGITUDINAL .....	46
III.4 - PERFIL TRANSVERSAL .....	50
III.4.1. GENERALIDADES .....	50
III.4.2 FAIXA DE RODAGEM .....	50
III.4.2.1. Largura das vias .....	50
III.4.2.2. Sobrelargura nas curvas .....	50
III.4.2.3. Inclinação transversal .....	51
III.4.2.4. Sobrelevação .....	51
III.4.2.5. Transição da sobrelevação .....	52
III.4.3. BERMAS .....	56
III.4.4. VALETAS .....	58
III.4.5. SEPARADORES CENTRAIS .....	59
III.4.6. TALUDES .....	63
III.4.6.1. Terreno ondulado .....	63
III.4.6.2. Terreno acidentado ou muito acidentado .....	63
III.4.7. GUARDAS DE SEGURANÇA .....	63
III.5 - PERFIS TRANSVERSAIS TIPO .....	66
III.5.1. PERFIS EM ALINHAMENTO RECTO E EM CURVA .....	66
III.5.2 PERFIS SOBRE OBRAS DE ARTE .....	66
III.5.3. PERFIS SOB OBRAS DE ARTE .....	67
III.6 - CRITÉRIOS ESPECÍFICOS PARA ESTRADAS DE FAIXA DE RODAGEM ÚNICA .....	67
III.6.1. PERFIL LONGITUDINAL .....	67
III.6.2 PERFIL TRANSVERSAL .....	67
III.6.3. POSSIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM .....	68
III.7 - CRITÉRIOS ESPECÍFICOS PARA ESTRADAS COM DUPLA FAIXA DE RODAGEM .....	69
III.7.1. TRAÇADO EM PLANTA .....	69
III.7.2 TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL .....	69
III.7.3. PERFIL TRANSVERSAL .....	70
III.7.4. AUMENTO DO NÚMERO DE VIAS .....	70
III.7.4.1 Para o lado esquerdo das faixas de rodagem .....	70
III.7.4.2 Para o lado direito das faixas de rodagem .....	70
III.7.5. NÓS DE LIGAÇÃO .....	71
III.8 - ESTRADAS EM TERRENO DIFÍCIL .....	71
III.8.1. GENERALIDADES .....	71
III.8.2. ELEMENTOS BÁSICOS .....	71
III.8.3. VELOCIDADE BASE .....	71
III.8.4. TRAÇADO EM PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL .....	72
III.8.4.1 Planta .....	72
III.8.4.2 Perfil longitudinal .....	72
III.8.4.3 Visibilidade .....	73
III.8.5. PERFIL TRANSVERSAL .....	73
III.8.6. LACETES .....	74
III.8.7. SECÇÕES EM TÚNEL .....	75
III.9 – REMODELAÇÃO DE ESTRADAS EXISTENTES .....	76
III.10 - CONSTRUÇÃO POR FASES .....	76
III.10.1. GENERALIDADES .....	76
III.10.2. FASEAMENTO TRANSVERSAL .....	77
III.10.3. FASEAMENTO LONGITUDINAL .....	78
III.11.3.1 Introdução .....	80
III.11.3.2 Avaliação quantitativa da homogeneidade de traçado .....	81

III.11.3.2.1 Generalidades.....	81
III.11.3.2.2 Divisão da estrada em elementos rectos e curvos .....	82
III.11.3.2.3 Cálculo dos diagramas de velocidade média de circulação não impedida	82
III.11.3.2.3.1 Equações para estimativa da velocidade média de circulação livre (elementos rectos).....	86
III.11.3.2.3.2 Equações para estimativa da velocidade média de circulação não impedida em curvas.....	87
III.11.3.2.3.3 Limites superiores da velocidade média de circulação não impedida.....	87
III.11.3.2.3.4 Cálculo do valor da desaceleração na aproximação a cada curva .....	87
III.11.3.2.4 Cálculo do factor de heterogeneidade de cada curva.....	88
III.1.1.3.2.5 Determinação da classe de homogeneidade de cada curva .....	89
III.11.3.3 Cálculo automático das classes de homogeneidade das curvas de um traçado rodoviário.....	91
Bibliografia.....	92
Anexo I - SIGLAS E ABREVIATURAS .....	95
Anexo II - TERMINOLOGIA .....	97
Anexo III - SISTEMA DE SINALIZAÇÃO DE CURVAS EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HOMOGENEIDADE.....	103

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro I - Velocidades base.....	8
Quadro II - Velocidade do tráfego nas estradas da RRN (km/h).....	10
Quadro III - Velocidade a considerar na determinação de vários elementos do traçado.....	10
Quadro IV - Distâncias de visibilidade mínimas.....	12
Quadro V - Coeficientes de atrito longitudinal.....	12
Quadro VI - Extensões mínima e máxima dos alinhamentos rectos – Valores indicativos.....	15
Quadro VII - Coeficientes de atrito transversal.....	18
Quadro VIII - Raios mínimos em planta.....	19
Quadro IX - Comprimento mínimo do alinhamento recto ( $LR_{\min}$ ) em função da velocidade não impedida.....	21
Quadro X - Estradas sem acessos condicionados. Comprimento máximo do alinhamento recto - $LR_{\max}$ .....	21
Quadro XI - Estradas com acessos condicionados Comprimento máximo do alinhamento recto - $LR_{\max}$ .....	22
Quadro XII - Parâmetros das curvas em planta.....	25
Quadro XIII - Concordância de alinhamentos quase colineares.....	31
Quadro XIV - Inclinação máxima dos trainéis.....	34
Quadro XV - Extensões críticas dos trainéis.....	36
Quadro XVI - Raio mínimo das concordâncias convexas.....	37
Quadro XVII - Raio mínimo das concordâncias côncavas.....	38
Quadro XVIII - Parâmetros fundamentais do traçado em perfil longitudinal.....	39
Quadro XIX - Biséis de vias adicionais para $l = 3.5$ m.....	40
Quadro XX - Convergência das vias adicionais em rampa.....	42
Quadro XXI - Trainéis equivalentes à resistência ao rolamento de vários materiais.....	43
Quadro XXII - Sobrelevação em curva.....	52
Quadro XXIII - Obliquidade máxima da transição da sobrelevação.....	55
Quadro XXIV - Largura das bermas pavimentadas.....	58
Quadro XXV - Largura mínima dos separadores.....	60
Quadro XXVI - Raios mínimos nos lacetes.....	75



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplos de curvas de distribuição cumulativa de velocidades.....	9
Figura 2 - Traçado em planta de curvas circulares. Combinação de raios desejável.....	20
Figura 3 - Representação esquemática de uma clotóide no seu referencial próprio.....	23
Figura 4 - Dois alinhamentos rectos e uma curva circular.....	26
Figura 5 - Raio mínimo para $\alpha < 60^\circ$ .....	27
Figura 6 - Curvas de transição – casos normais.....	27
Figura 7 - Curvas de transição – casos particulares.....	28
Figura 8 - Curvas de transição – casos a evitar.....	29
Figura 9 - Visibilidade nas curvas em função da velocidade do tráfego (VT).....	31
Figura 10 - Acidentes com veículos pesados em rampas.....	35
Figura 11 - Vias adicionais em rampa.....	42
Figura 12 - Escapatórias.....	44
Figura 13 - Traçado típico de uma escapatória.....	45
Figura 14 - Coordenação do traçado em planta e perfil longitudinal - 1.....	48
Figura 15 - Coordenação do traçado em planta e perfil longitudinal - 2.....	48
Figura 16 - Coordenação do traçado em planta e perfil longitudinal - 3.....	49
Figura 17 - Coordenação do traçado em planta e perfil longitudinal - 4.....	49
Figura 18 - Transição da sobrelevação (rotação em torno do eixo).....	53
Figura 19 - Eixo de rotação da sobrelevação.....	54
Figura 20 - Transição da sobrelevação com curva de transição.....	55
Figura 21 - Transição da sobrelevação sem curva de transição.....	56
Figura 22 - Perfis transversais tipo – Berma e concordância com o talude.....	56
Figura 23 - Perfis transversais tipo – Bermas com guardas de segurança.....	57
Figura 24 - Perfis transversais tipo – Valetas.....	59
Figura 25 - Perfis transversais tipo – Separadores largos em estrada.....	61
Figura 26 - Perfis transversais tipo – Separadores estreitos em estrada.....	61
Figura 27 - Perfis transversais tipo – Separadores em Obras de Arte.....	62
Figura 28 - Ábaco para determinação do Índice de necessidade de guardas de segurança.....	65
Figura 29 - Perfis transversais tipo.....	66
Figura 30 - Estradas em terreno difícil – Bermas.....	73
Figura 31 - Estradas em terreno difícil – Lacetes.....	74



# DOCUMENTO BASE

## I – INTRODUÇÃO

### I.1. ÂMBITO

Esta Norma aplica-se a todas as estradas da Rede Rodoviária Nacional (RRN) e às estradas regionais<sup>1</sup>, conforme definidas no Plano Rodoviário Nacional 2000 (PRN2000) [1]. Inclui princípios básicos, métodos e valores limite e de referência para o projecto de estradas novas e para a reconstrução e ampliação de estradas já existentes, situadas em zonas rurais.

### I.2. OBJECTIVOS

O objectivo desta Norma é que a elaboração dos projectos seja efectuada segundo bases uniformes e de acordo com os princípios e a boa prática da Engenharia Rodoviária, a fim de se construírem estradas seguras e cómodas para o utente, que satisfaçam a procura do tráfego, se integrem no meio ambiente nas melhores condições possíveis, e cujos custos de construção e de conservação sejam aceitáveis.

A utilização de critérios uniformes na elaboração dos projectos permite obter uma rede bem estruturada e facilita o correcto comportamento dos condutores.

Para uma utilização racional das normas deve ter-se sempre em consideração os seguintes princípios:

- a) A Norma refere-se essencialmente aos aspectos técnicos do traçado, com base em critérios como o de segurança, o de comodidade e de escoamento do tráfego. São consideradas hipóteses simplificadoras relativas, nomeadamente, ao comportamento dos condutores e às características dos veículos.
- b) A influência das estradas no meio ambiente, a sua integração na zona atravessada e a sua função socioeconómica são de importância fundamental, mas só podem ser consideradas parcialmente nesta Norma.
- c) A aplicação pura e simples da Norma não garante por si só um bom projecto. A competência e a experiência do engenheiro são factores determinantes para a qualidade do projecto.
- d) Pode haver casos em que se torne necessário não seguir o estipulado na Norma. No entanto, quando tal se verifique deve ser devidamente justificado, devendo porém os princípios básicos ser mantidos.

Esta Norma constitui um documento devidamente preparado para servir de base ao projecto das estradas e está de acordo com a evolução tecnológica no domínio. As regras nela contidas foram comprovadas através, nomeadamente, da reflexão técnica, da investigação e de confirmações práticas. A sua aplicação deve permitir não só a homogeneidade dos traçados, como ainda tornar claramente distintas as várias categorias de estradas.

---

<sup>1</sup> Esta norma pode ainda ser utilizada na elaboração de projectos de outras estradas (nomeadamente de rede municipal) em zonas rurais, utilizando os valores correspondentes às estradas regionais. Esta norma não é aplicável a arruamentos urbanos (níveis 2 a 4 da rede viária urbana).

<sup>2</sup> As designações em *itálico* estão definidas no Anexo II, Terminologia.

<sup>3</sup> Aprovado pelo Decreto-Lei n.º 114/94, de 3 de Maio, revisto e republicado pelo Decreto-Lei n.º 44/2005, de 23 de Fevereiro e alterado pelo Decreto-Lei n.º 113/2008, de 1 de Julho.

As causas dos acidentes não são fáceis de identificar. Na maioria dos casos resultam da combinação de vários factores entre os quais o comportamento dos condutores. Uma das finalidades da Norma é garantir que o traçado da estrada não defraude as expectativas dos condutores e que permita aos condutores aperceberem-se atempadamente dos pontos singulares do traçado e evitem os perigos a eles associados.

### **I.3. APLICAÇÃO**

A aplicação da Norma não deve ser feita rigidamente, devendo ter em consideração entre outros aspectos, as múltiplas relações existentes entre o traçado e o meio ambiente. Consequentemente, ao projectar uma estrada deve ponderar-se conjuntamente: a preservação do ambiente natural e construído, a economia de recursos, e a poluição sonora e química. No entanto, como é evidente, deve prevalecer sempre a necessidade de segurança de todos os utentes.

Os valores referidos nesta Norma foram definidos a partir dos requisitos da dinâmica dos veículos e de outras exigências físicas, psicofisiológicas e sociais, necessárias para que os percursos sejam efectuados com segurança, comodidade e economia.

A Norma permite um amplo espaço de intervenção que deve ser aproveitado pelos projectistas para uma conveniente ponderação de todos os factores em jogo. Os valores definidos nesta Norma não dispensam o cuidadoso estudo dos casos singulares, principalmente quando se trata da análise da integração do traçado no meio ambiente e do seu relacionamento com a segurança e os custos de construção e exploração. Nestes casos é essencial analisar os conflitos entre a procura rodoviária e os outros interesses envolvidos, a fim de obter uma solução de compromisso que seja correcta.

## II – ELEMENTOS BÁSICOS

### II.1. CATEGORIA DA ESTRADA

Actualmente, a Rede Rodoviária Nacional integra duas categorias de estradas, que constituem a Rede Nacional Fundamental e a Rede Nacional Complementar.

A Rede Nacional Fundamental é constituída pelos Itinerários Principais (IP). Os Itinerários Principais devem assegurar o nível de serviço B, a fim de garantirem correntes de tráfego estáveis e permitirem aos seus utilizadores, com segurança e comodidade, uma razoável liberdade de circulação.

A Rede Nacional Complementar integra os Itinerários Complementares (IC) e as Estradas Nacionais (EN). As estradas que constituem a Rede Nacional Complementar devem assegurar o nível de serviço C, correspondente a condições de circulação relativamente estáveis, embora com restrições quanto à velocidade e a ultrapassagens.

Os níveis de serviço referidos devem ser mantidos em todas as componentes da estrada, inclusive nas zonas de entrecruzamento, nos ramos de nós de ligação e nos cruzamentos de nível. No entanto, em determinados lanços da Rede Nacional Fundamental e Complementar, sujeitos a tráfego sazonal de migrações pendulares ou situados em zonas particularmente difíceis, por motivos de ordem topográfica ou de ocupação urbana, pode ser considerado um nível de serviço inferior aos referidos anteriormente, o que deve porém ser devidamente justificado.

Do Plano Rodoviário Nacional 2000 (PRN 2000) constam ainda outras vias públicas, com interesse supramunicipal e complementar à RRN, designadas por Estradas Regionais (ER).

A definição das características geométricas de uma estrada resulta da sua tipologia (*auto-estrada*<sup>2</sup>, *via rápida*, *via expresso*, estrada de faixa única com cruzamentos de nível) a qual se deve integrar dentro de um dos regimes de circulação definidos no Código da Estrada<sup>3</sup>: auto-estrada, via reservada a automóveis e motociclos e restantes estradas (ou fora das localidades).

### II.2. TRÁFEGO

#### II.2.1. Nível de serviço

A selecção das características técnicas relativas a cada projecto do traçado de uma estrada deve ser efectuada tendo em conta o *nível de serviço* pretendido e o *volume horário de projecto* previsto para o ano horizonte.

O nível de serviço é uma medida qualitativa das condições de circulação (*densidade do tráfego*, *velocidade média* e *percentagem de perda de tempo*) asseguradas aos utilizadores por uma infra-estrutura rodoviária [2], sendo caracterizado normalmente pela *velocidade de operação*.

<sup>2</sup> As designações em *itálico* estão definidas no Anexo II, Terminologia.

<sup>3</sup> Aprovado pelo Decreto-Lei n.º 114/94, de 3 de Maio, revisto e republicado pelo Decreto-Lei n.º 44/2005, de 23 de Fevereiro e alterado pelo Decreto-Lei n.º 113/2008, de 1 de Julho.



A velocidade a que desejam circular os utentes de uma determinada estrada é normalmente variável de veículo para veículo. Consequentemente, cada condutor só pode circular à velocidade pretendida desde que efectue sucessivas ultrapassagens. Se por qualquer razão as ultrapassagens não são possíveis, formam-se grupos de veículos (pelotões), o que ocasiona perdas de tempo. A necessidade de efectuar ultrapassagens aumenta com a densidade do tráfego e com a diferença de velocidade entre os veículos, sendo também tanto maior quanto menor for a *velocidade média do tráfego*.

O nível de serviço de uma estrada pode ser definido com base na máxima perda de tempo admissível e na *velocidade média do tráfego*.

A *percentagem da perda de tempo* reflecte a mobilidade possível, sendo definida como a percentagem média de tempo perdido por todos os veículos que circulam na estrada em virtude de serem obrigados a circular em pelotões, devido à impossibilidade de efectuarem ultrapassagens.

Como se referiu, os Itinerários Principais devem assegurar o nível de serviço B e as estradas que constituem a Rede Nacional Complementar (IC e EN) devem assegurar o nível de serviço C. No caso dos IP e IC<sup>4</sup>, o nível de serviço é determinado pela velocidade média e pela percentagem de perda de tempo. No caso de uma EN<sup>5</sup>, o nível de serviço é determinado apenas pela percentagem de perda de tempo, com os valores constantes da versão mais recente do Manual de Capacidade de Estradas (“Highway Capacity Manual” - HCM) [2].

O **volume de serviço** é o número máximo de veículos que podem passar numa determinada secção de uma faixa de rodagem de uma estrada, num sentido ou em dois, durante uma hora (débito horário máximo), sem que se alterem as características da circulação correspondentes ao nível de serviço a que aquele volume se refere.

A cada nível de serviço corresponde pois um *volume de serviço*, cujo valor depende, sobretudo, das características geométricas da estrada e da composição do tráfego.

Os volumes de serviço são determinados pela metodologia constante da versão mais recente do HCM [2].

### II.2.2. Volume horário de projecto

O *volume horário de projecto* deve ser definido para o ano horizonte, o qual deve corresponder ao múltiplo de cinco mais próximo que se obtém adicionando vinte anos à data prevista para a abertura ao tráfego da estrada. Se não se dispuser de informação mais fidedigna, considera-se normalmente aceitável como volume horário de projecto 10% do tráfego médio diário naquele ano.

Quando se verifique a necessidade de dupla faixa de rodagem deve efectuar-se sempre um estudo económico para um ano horizonte intermédio (p. ex. 10 anos). No caso de a taxa interna de rentabilidade ser inferior a 12%, deve construir-se numa primeira fase uma estrada com faixa de rodagem única e duas vias, cujas características geométricas devem respeitar, também, os critérios de traçado deste tipo de estradas.

---

<sup>4</sup> Normalmente estradas com dupla faixa de rodagem (*auto-estradas, vias reservadas a automóveis e motociclos* ou *vias rápidas*) ou *vias expresso*.

<sup>5</sup> Normalmente estradas de faixa única, com dois sentidos, com cruzamentos de nível.



## **II.3. ACESSOS MARGINAIS**

### **II.3.1. Controlo de acessos**

Conforme disposto na legislação em vigor, os Itinerários Principais são vedados em toda a sua extensão, pelo que é proibido o acesso aos mesmos a partir das propriedades marginais. Deve ser ainda expropriada uma faixa de cada lado da plataforma, a revestir por vegetação adequada, de modo a reforçar a protecção da estrada de interferências marginais e diminuir a poluição ambiente.

Identicamente, não é permitida a criação de novos acessos privados aos Itinerários Complementares e às Estradas Nacionais que assumam provisoriamente a função e o estatuto de Itinerários Principais ou de Itinerários Complementares, enquanto estes não estiverem construídos.

Consequentemente, os Itinerários Complementares a construir são também vedados em toda a sua extensão, não sendo permitido o acesso aos mesmos a partir das propriedades marginais.

Nas situações em que os acessos existentes são suprimidos devido à implantação de uma nova estrada, é necessária a construção de *vias de serviço* para assegurar o acesso às propriedades marginais. O traçado dessas vias de serviço depende das condicionantes topográficas e de ocupação urbana locais.

### **II.3.2. Facilidades para peões**

Normalmente não são considerados passeios para peões mesmo no caso das Estradas Nacionais da Rede Nacional Complementar. Exceptuam-se as travessias de povoações por Estradas Nacionais, enquanto não forem construídas as respectivas variantes, e outras situações, desde que devidamente justificadas, quando se trate de Estradas Nacionais.

Devem, porém, ser sempre mantidos os caminhos para peões existentes, normalmente pelo recurso à construção de passagens desniveladas.

Quando as condições de travessia pedonal da estrada forem inadequadas para os peões devem ser construídas passagens especiais para estes. O estudo relativo às passagens desniveladas para peões deve ter em consideração as necessidades actuais e futuras da zona abrangida ou da comunidade existente. Esse estudo deve incluir a localização dos geradores de tráfego, os volumes de peões, a localização de outras travessias, a ocupação do solo, os factores sociais e culturais, e as características dos respectivos utentes.

Essas passagens desniveladas devem ser, de preferência, superiores à estrada. Com efeito, devem ser evitadas as passagens inferiores a fim de se prevenirem potenciais actos criminosos ou de vandalismo.

Em princípio só devem ser construídas passagens inferiores para peões quando solicitadas oficialmente pelas autoridades locais, mas neste caso é necessário assegurar a visibilidade total ao longo da estrutura, assim como dos seus acessos.

O acesso às passagens desniveladas para peões deve normalmente ser assegurado por rampas, e não por escadas, a fim de possibilitar a sua utilização pelas pessoas que utilizem cadeiras de rodas.

Consequentemente, a inclinação das rampas deve ter em consideração essa utilização, devendo respeitar o estabelecido na legislação em vigor, relativamente às acessibilidades para utentes de mobilidade reduzida.

#### II.4. INTEGRAÇÃO PAISAGÍSTICA

Em qualquer estrada é importante que o seu aspecto seja agradável.

Consequentemente, os aspectos de integração paisagística devem ser considerados em conjunto com a segurança e todos os outros factores na elaboração do projecto. Isto é particularmente importante quando as estradas se localizam em zonas de reconhecida beleza natural. A implantação da estrada, o traçado e o perfil transversal devem harmonizar-se com o meio ambiente, pelo que muitas vezes se justifica um razoável aumento de custo para realçar a beleza da estrada.

Os valores cénicos a preservar, principalmente em zonas de reconhecida beleza natural, podem condicionar a *velocidade base* do projecto.

Ao definir-se um projecto devem ser considerados os seguintes aspectos estéticos:

- a) A implantação do traçado deve ser tal que preserve o ambiente natural e permita a vista de paisagens.
- b) O traçado deve integrar-se no carácter da área atravessada, de tal modo que as “feridas” causadas pelas escavações e aterros sejam o mínimo possível. O traçado em planta e perfil deve ser coordenado de modo a obter-se uma aparência agradável.
- c) A destruição da vegetação existente deve ser minimizada. Nas áreas florestais deve ser efectuado um inventário das árvores afectadas, de modo a obterem-se elementos detalhados sobre as variedades, o estado, a localização e o porte.
- d) Deve prever-se a substituição das plantas afectadas, a qual deve reflectir a importância visual das plantações perdidas. Deve também ser assegurada a conservação das plantações efectuadas.
- e) A vegetação existente, tais como árvores ou maciços de arbustos, pode ser selectivamente desbastada ou abatida, de modo a permitir vistas cénicas ou assegurar um fronteira natural entre a floresta e as áreas livres.
- f) Devem ser assegurados miradouros quando a vista e a paisagem sejam excepcionais, e existam locais que tornem possível a sua construção.
- g) Sempre que possível, nas estradas com duas faixas de rodagem devem adoptar-se separadores mais largos do que os mínimos recomendados, assim como faixas de rodagem independentes, pois estas soluções valorizam o aspecto estético da integração da estrada na paisagem e quebram a monotonia das faixas de rodagem paralelas. Esta monotonia é o maior inconveniente das auto-estradas, pela fadiga psicológica que causa aos condutores.
- h) Sempre que o seu custo não seja excessivo, é preferível o recurso a viadutos, túneis e muros de suporte, em vez de agressivos taludes de aterro ou de escavação.

- i) Os taludes devem ser suavizados, sempre que possível, e revestidos com arbustos, de tal modo que se integrem perfeitamente no meio ambiente.
- j) Devem ser evitadas as “cicatrices” dos locais de empréstimo de materiais. O recurso a plantações, compatíveis com as existentes no local, é indispensável sempre que tais empréstimos sejam inevitáveis.
- k) Os dispositivos de drenagem devem ser localizados para que a erosão e os detritos sejam visíveis ou eliminados quando as condições locais o permitem.
- l) As áreas dos nós de ligação devem ser regularizadas de modo a proporcionarem conjuntos agradáveis e naturais. O seu aspecto pode ainda ser melhorado com o recobrimento arbustivo, de acordo com as características locais.

## II.5. VELOCIDADE

### II.5.1. Generalidades

A velocidade efectivamente praticada pelos condutores depende de inúmeros factores dificilmente quantificáveis (topografia, volumes de tráfego, características dos condutores, tipo dos veículos, etc.). No entanto, a velocidade é um parâmetro fundamental para a escolha e controlo dos elementos geométricos do traçado, pois permite ter em consideração, de maneira racional, os critérios de economia, segurança e comodidade, ao elaborar-se um projecto.

A **velocidade base** é uma velocidade arbitrada na elaboração de um projecto rodoviário, que condiciona algumas das características geométricas da estrada.

A **velocidade de circulação não impedida** é a velocidade de circulação dum veículo ligeiro, num trecho de estrada (recto ou curvo) com densidade de tráfego muito baixa e sem condicionantes devidas aos restantes condutores nem a outros factores, como por exemplo condições atmosféricas adversas. Na prática pode considerar-se que um condutor circula sob condições de circulação livre quando menos de 25% dos condutores circulam em fila e os tempos de espaçamento para os veículos precedente e subsequente são superiores a 6 e 3 segundos, respectivamente. Num trecho de estrada recto, onde também não existem condicionantes devidas ao traçado da estrada, a velocidade de circulação não impedida toma a designação de *velocidade de circulação livre*.

Sobre a distribuição das velocidades de circulação não impedida podem ser definidas as estatísticas “média” e “percentil 85”, correspondendo a primeira à *velocidade média de circulação não impedida* e a última à **velocidade não impedida**. Num trecho de estrada recto, estas velocidades são designadas, respectivamente, por *velocidade média de circulação livre* e por **velocidade desejada**.

A *velocidade não impedida* é um elemento que reflecte a dinâmica do traçado, pelo que deve ser considerada nos elementos fundamentais do projecto, como seja a visibilidade. Não seria porém prático, nem justificável, considerar a velocidade não impedida correspondente a cada elemento ao definirem-se as características geométricas do traçado de uma estrada, atendendo à sua



génese empírica. Para tanto toma-se como representativa a **velocidade do tráfego**, ou seja a velocidade que se admite ser excedida somente por 15% dos veículos (percentil 85)<sup>6</sup>.

Na verdade os condutores escolhem a velocidade a que circulam numa estrada, de acordo com o traçado e o meio ambiente em que este se desenvolve, isto é, as características da estrada que acabaram de percorrer e a sua percepção das características da secção a percorrer; essa velocidade não coincide necessariamente com a *velocidade base*.

Para além das condições do tráfego, diversos outros factores, relacionados nomeadamente com a infra-estrutura rodoviária, influenciam a velocidade adoptada pelos condutores, salientando-se os seguintes: tipo de estrada percebido, visibilidade, curvatura, perfil transversal, estado do pavimento, cruzamentos de nível, nós de ligação e acessos marginais.

As velocidades não impedidas correspondentes a dois elementos consecutivos do traçado (como sejam duas curvas em planta) não devem diferir entre si mais de 20 km/h, a fim de não se prejudicar a homogeneidade do traçado.

### II.5.2. Velocidade base

A escolha da velocidade base resulta da categoria e da função da estrada na rede nacional, tendo em consideração condicionamentos topográficos, ambientais e de ordem económica, os objectivos do tráfego e o nível de serviço. A velocidade base permite seleccionar a maioria das características geométricas a considerar no projecto, e consequentemente contribui para uniformizar quer o traçado de vários dos seus elementos componentes quer o traçado da estrada com o das outras estradas da mesma categoria da RRN.

No Quadro I referem-se as velocidades base a considerar nas estradas nacionais e regionais.

**Quadro I - Velocidades base**

Tipo de Estrada		Velocidade Base (km/h)				
		140	120	100	80	60
Dupla faixa de rodagem	IP	x(a)	x(a)	x	–	–
	IC	x(a)	x(a)	x	x (b)	–
Faixa única, com dois sentidos	IC	–	–	(c)	x	–
	EN	–	–	–	x	x
	ER	–	–	–	x	x

(a) Só em auto-estrada

(b) Neste caso deve ser devidamente justificado o recurso a esta velocidade.

(c) Apenas nos casos em que se preveja a futura duplicação

<sup>6</sup>Ao nível do projecto a velocidade do tráfego é calculada a partir da velocidade base, correspondendo – por hipótese – à velocidade que é excedida somente por 15% dos veículos. No caso desta norma estabeleceu-se uma relação teórica entre a velocidade base e a velocidade do tráfego, o que corresponde a considerar que o coeficiente de variação da distribuição é constante para toda a rede rodoviária [3].

A velocidade base é a utilizada para determinar o raio mínimo em planta, a inclinação máxima dos trainéis e o perfil transversal tipo.

A velocidade base deve manter-se constante ao longo da estrada, contribuindo, assim, para a desejável uniformidade de características geométricas.

Quando for imprescindível variar as características de um trecho de estrada, e consequentemente alterar a velocidade base, devido, por exemplo, a nítidas variações da topografia, devem adoptar-se zonas de transição em que essa variação se efectue lenta e gradualmente.

A velocidade base de trechos contíguos não deve diferir, porém, de mais de 10 km/h, de modo a conseguir-se uma transição gradual e cómoda das velocidades.

Quando da beneficiação de estradas existentes, os elementos geométricos das zonas de transição devem ser objecto de especial atenção, a fim de se assegurar a segurança e comodidade do tráfego.

### II.5.3. Velocidade do tráfego

A partir de uma curva de distribuição cumulativa de velocidades numa secção de estrada, é possível determinar, para cada velocidade, a percentagem de veículos (percentil) que circulam a uma velocidade igual ou inferior à mesma (Figura 1).

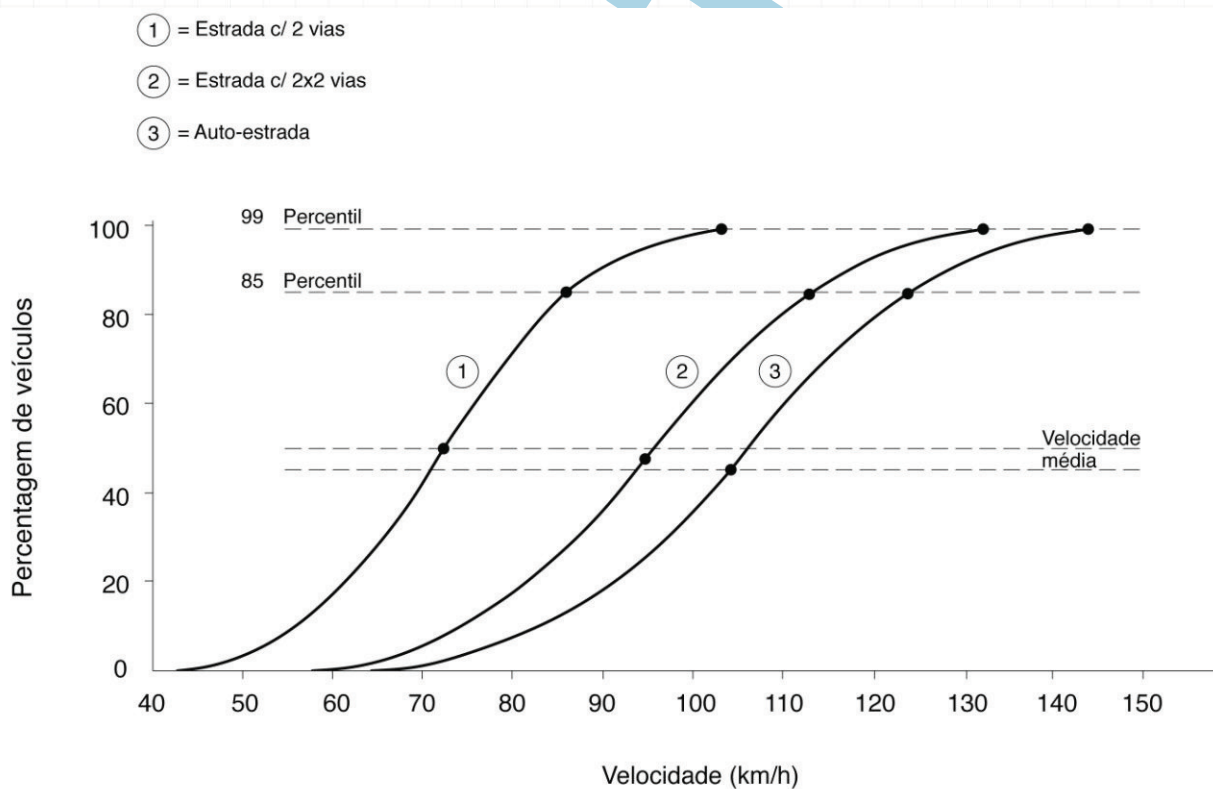


Figura 1 - Exemplos de curvas de distribuição cumulativa de velocidades

A velocidade correspondente ao percentil 85, que se toma como *velocidade do tráfego*, é normalmente considerada como uma velocidade crítica, pois pequenos aumentos do percentil a



partir do percentil 85 correspondem a grandes aumentos de velocidade e velocidades superiores a esta são normalmente perigosas para as condições mais desfavoráveis consideradas.

No Quadro II indicam-se os valores das velocidades do tráfego correspondentes a diferentes velocidades base (ver nota de pé de página n.º 6, para o caso de estradas da RRN).

**Quadro II** - Velocidade do tráfego nas estradas da RRN (km/h)

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

Pode portanto dizer-se que na definição das características geométricas de uma estrada há que considerar não só a velocidade base como a velocidade do tráfego, o que corresponde à utilização de um conceito mais realista do ponto de vista dinâmico, pois a velocidade praticada pelos utentes ao longo do percurso varia em função das características do traçado. Procura, assim, dar-se satisfação às expectativas dos condutores. No Quadro III refere-se a velocidade padrão a considerar na definição de diferentes características geométricas do traçado.

**Quadro III** - Velocidade a considerar na determinação de vários elementos do traçado

Elementos do Traçado	Velocidade	
	Velocidade Base	Velocidade do Tráfego
Raio mínimo em planta	x	—
Inclinação máxima do trainel	x	—
Perfil transversal tipo	x	—
Distâncias de visibilidade	—	x
Raio mínimo das concordâncias verticais	—	x

## II.6. VISIBILIDADE

### II.6.1. Generalidades

A visibilidade é de fundamental importância para a segurança e eficiência da condução numa estrada. A distância de visibilidade é a extensão contínua da estrada visível pelo condutor. Os projectistas devem, pois, assegurar a distância de visibilidade suficiente para que os condutores possam controlar a velocidade dos seus veículos evitando assim chocar com um obstáculo inesperado na faixa de rodagem.

Devem ser considerados três tipos de distância de visibilidade: paragem, decisão e ultrapassagem.

Nas estradas com duas vias a distância de visibilidade de ultrapassagem deve ser assegurada com frequentes intervalos, de modo a ser possível assegurar o nível de serviço desejado e a segurança necessária.

### II.6.2. Distância de visibilidade de paragem

A *distância de visibilidade de paragem* é a mínima distância necessária para que um condutor, circulando a uma determinada velocidade, possa parar em segurança o veículo, se necessário, após ver um obstáculo no pavimento.

A distância de visibilidade de paragem é a mínima distância de visibilidade que deve ser assegurada quando não é economicamente viável assegurar uma distância de visibilidade superior.

A distância de visibilidade de paragem é medida entre os olhos do condutor (1.05 m acima do pavimento) e um obstáculo no pavimento com 0.15 m de altura.

A *distância de visibilidade de paragem* (DP) é determinada através da adição de duas parcelas, traduzindo a primeira a distância percorrida durante o tempo de percepção-reacção do condutor (tomado como 2 s), e a segunda a distância de travagem que é função da velocidade do tráfego (VT, em km/h), do coeficiente de atrito longitudinal ( $f_l$ ) e da inclinação do trainel (+ i ou - i, ascendente e descendente, respectivamente, expresso em %/100). Adopta-se a seguinte expressão para o cálculo da DP:

$$DP = \frac{VT}{1,8} + \frac{VT^2}{254 (f_l \pm i)}$$

Os valores das distâncias de visibilidade de paragem constantes do Quadro IV foram calculados para o caso de um trainel em patamar. Nos declives com inclinação superior deve determinar-se a distância de visibilidade de paragem efectivamente necessária pela expressão indicada para o cálculo da DP.

Os valores mínimos da distância de visibilidade de paragem que devem ser considerados nos projectos são os indicados no Quadro IV.

**Quadro IV - Distâncias de visibilidade mínimas**

Velocidade Base (VB, km/h)	Velocidade do tráfego (VT, km/h)	Distância de Visibilidade (m)		
		Paragem (DP)	Decisão (DD)	Ultrapassagem (DU)
40	50	60	-	350
50	60	80	200 (a)	420
60	80	120	270	560
70	90	150	300	630
80	100	180	330	700
90	110	220	370	770
100	120	250	400	840
110	125	280	410	880
120	130	320	430	910
130	135	330	450	950
140	140	390	470	980

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

No Quadro V são indicados os valores dos coeficientes de atrito longitudinal adoptados ( $f_l$ ), em função da velocidade.

**Quadro V - Coeficientes de atrito longitudinal**

Velocidade do Tráfego (km/h)	$f_l$
50	0.32
60	0.32
80	0.32
90	0.32
100	0.32
110	0.31
120	0.31
130	0.27
140	0.25

### II.6.3. Distância de visibilidade de decisão

A distância de visibilidade de paragem não é suficiente para assegurar em todas as circunstâncias uma operação eficiente aos utentes da estrada. Com efeito, a distância de visibilidade de paragem é inadequada, por exemplo, quando os condutores têm de tomar uma decisão complexa, ou quando as informações dadas pela sinalização não são de compreensão imediata.

A distância de visibilidade necessária para um condutor se aperceber de uma informação inesperada, menos fácil de compreender, ou de uma alteração nas características da estrada, identi-

ficar essa situação, decidir e adoptar a velocidade mais conveniente e iniciar e concluir com segurança a manobra necessária, designa-se como *distância de visibilidade de decisão*.

É portanto necessário assegurar a distância de visibilidade de decisão nos locais em que as expectativas do condutor possam ser significativamente alteradas ou onde é provável verifiquem-se dúvidas do condutor ao receber uma informação.

Estão neste caso os cruzamentos de nível, os nós de ligação, a diminuição do número de vias, as zonas de entrecruzamento, as áreas de serviço e as instalações similares de apoio aos utentes.

A distância de visibilidade de decisão (DD, em m) é função da velocidade do tráfego (VT, em km/h), tendo sido para efeito da presente Norma, determinada empiricamente pela expressão (ver Quadro IV):

$$DD = 3.3 VT$$

#### **II.6.4. Distância de visibilidade de ultrapassagem**

A manobra de ultrapassagem varia muito de condutor para condutor, de veículo para veículo, e depende ainda da velocidade do veículo ultrapassado.

A ultrapassagem deve ser efectuada sem que um veículo que circule em sentido contrário e seja visto no início da manobra de ultrapassagem tenha de reduzir a velocidade.

A *distância de visibilidade de ultrapassagem* é a mínima distância de visibilidade necessária para que o condutor de um veículo ultrapasse outro veículo com segurança e comodidade.

A distância de visibilidade de ultrapassagem só é de considerar nas estradas com duas vias. Em certos casos é mais económico construir zonas de ultrapassagem com três ou quatro vias, do que assegurar a distância de visibilidade de ultrapassagem.

É evidente que, quanto maior for a distância de visibilidade, tanto maior é o número de condutores capazes de efectuar a manobra de ultrapassagem, pelo que são desejáveis distâncias de visibilidade tão grandes quanto possível.

No Quadro IV indicam-se os valores da distância de visibilidade de ultrapassagem correspondentes às diferentes velocidades. Para efeito da presente Norma a distância de visibilidade de ultrapassagem (DU, em m) pode ser determinada pela seguinte expressão empírica, em função da velocidade do tráfego (VT, em km/h):

$$DU = 7 VT$$



### III – GEOMETRIA

#### III.1 - TRAÇADO EM PLANTA

##### III.1.1. GENERALIDADES

O traçado em planta deve assegurar a circulação com segurança à *velocidade base* definida previamente. Entre as principais condicionantes do traçado contam-se: a velocidade, as características geotécnicas, a topografia, o meio ambiente e os custos. A topografia condiciona decisivamente a velocidade.

Todos estes factores devem ser considerados em conjunto de modo a obter-se um traçado que seja seguro, cómodo, económico e se integre no terreno em que se localiza. O traçado em planta deve garantir, pelo menos, a distância de visibilidade de paragem correspondente à *velocidade do tráfego*. Na escolha do traçado em planta assume particular importância a sua adaptação ao terreno, a qual condiciona os custos de construção, conservação e operação.

Em terreno plano deve evitar-se que o traçado ocasione monotonia aos condutores. Neste caso deve também merecer cuidados especiais a drenagem superficial.

No caso de terreno difícil ou muito difícil, deve localizar-se o traçado em zonas estáveis e de modo a atravessar, em condições favoráveis, as linhas de água. Nestes casos não é normalmente o traçado mais curto, entre pontos obrigatórios, que é o melhor. Em zonas onde se preveja a possibilidade de formação de gelo deve localizar-se o traçado, sempre que possível, em encostas expostas ao sol.

A definição do traçado em planta refere-se sempre a uma directriz que consiste no lugar geométrico da projecção, sobre o plano horizontal, dos pontos que, em cada secção transversal, coincidem com o seu "eixo", o qual é, salvo justificação em contrário:

- i - o centro da faixa de rodagem nas estradas com duas vias;
- ii - o centro do separador, se este for de largura constante, nas estradas com dupla faixa de rodagem.

Quando o separador não tiver largura constante consideraram-se dois eixos que correspondem ao limite esquerdo de cada faixa de rodagem.

Os elementos geométricos do traçado em planta são: alinhamentos rectos, curvas circulares e curvas de transição.

##### III.1.2. ALINHAMENTOS RECTOS

Os alinhamentos rectos suficientemente extensos facilitam as ultrapassagens nas estradas com duas vias. No entanto, normalmente, integram-se mal na topografia. Além disso, provocam o aumento da duração do encadeamento na condução nocturna, tornam a condução monótona, e dificultam a avaliação das velocidades e das distâncias.

Os alinhamentos rectos extensos não devem ter inclinações longitudinais constantes. A fim de se reduzir o encadeamento nocturno e a monotonia da condução, a extensão máxima de um alinhamento recto (em m) com inclinação longitudinal constante, deve ser  $20 VB$ , sendo  $VB$  a *velocidade base*, em km/h.



Os alinhamentos rectos devem ainda proporcionar possibilidade de ultrapassagem pelo que nas estradas de faixa única, com dois sentidos, a extensão mínima aconselhada ( $LR_{min}$ , em m) é de 6 VB (VB, em km/h) - Quadro VI.

**Quadro VI** - Extensões mínima e máxima dos alinhamentos rectos – Valores indicativos

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

\* Nota: não aplicável a estradas com faixas de rodagem bidireccionais

\*\*Nota: aplicável em trainéis com inclinação constante

Sempre que possível devem evitar-se orientações dos alinhamentos rectos coincidentes com a direcção nascente – poente, a fim de se evitar o encadeamento provocado pelo sol, especialmente no caso de alinhamentos extensos.

No caso de haver ventos fortes dominantes, o traçado ideal seria aquele cuja orientação coincidissem com a desses ventos, por forma a evitarem-se acções dinâmicas desfavoráveis dos ventos laterais, o que nem sempre é possível, nomeadamente no atravessamento de vales.

### III.1.3. CURVAS CIRCULARES

#### III.1.3.1. Introdução

Sem deixar de ter em consideração os condicionamentos ditados pela topografia, o raio das curvas circulares deve ser o maior possível, o que facilita a visibilidade e a percepção do traçado pelos utentes. No entanto, o valor dos raios deve ter também em atenção a necessidade do traçado se harmonizar com a paisagem, bem como a coordenação do traçado em planta com o traçado em perfil longitudinal.

#### III.1.3.2. Estimativa da velocidade não impedida em curva

Para simplificar a estimativa da *velocidade não impedida* em curva ( $VC_{85}$ ) em **estradas com faixa de rodagem única, com dois sentidos**, utilizam-se cinco equações, correspondentes às seguintes situações padrão [8]:

- Estradas de faixa de rodagem com largura não inferior a 7.75 m, bermas pavimentadas com 2.5 m de largura ou mais, correspondendo habitualmente a traçados de IP ou de IC (dotados de acessos condicionados);
- Estradas de faixa de rodagem com largura não inferior a 7.50 m (berma de qualquer tipo);
- Estradas de faixa de rodagem com largura entre 6.00 e 7.50 m e bermas pavimentadas;
- Estradas de faixa de rodagem com largura entre 6.00 e 7.50 m e bermas não pavimentadas;

- e) Estradas de faixa de rodagem com largura inferior a 6.00 m (berma de qualquer tipo).

Nas estradas com menor largura de faixa consideraram-se elementos curvos com comprimento de 45 m; nas restantes adoptou-se como típico do comprimento das curvas o valor de 60 m.

Relativamente à velocidade de aproximação ( $VR_{85}$ ), adoptaram-se os valores: 100 km/h para as estradas com largura de faixa de rodagem não inferior a 7.5 m; 95 km/h para as estradas com largura entre 6.00 e 7.50 m e 85 km/h para as estradas com menor largura de faixa de rodagem.

As equações resultantes, válidas para o cálculo da velocidade não impedida em curva ( $VC_{85}$ ) de estradas de faixa de rodagem única, são apresentadas seguidamente.

- a) Em estradas de faixa de rodagem com largura não inferior a 7.75 m e bermas pavimentadas com 2.5 m ou mais:

$$VC_{85} = 110 - \frac{201.6}{\sqrt{R_c}}$$

- b) Em estradas de faixa de rodagem com largura não inferior a 7.50 m (qualquer tipo de berma):

$$VC_{85} = 119 - \frac{378.65}{\sqrt{R_c}}$$

- c) Em estradas de faixa de rodagem com largura entre 6.00 e 7.50 m e bermas pavimentadas:

$$VC_{85} = 104 - \frac{201.6}{\sqrt{R_c}}$$

- d) Em estradas de faixa de rodagem com largura entre 6.00 e 7.50 m e bermas não pavimentadas:

$$VC_{85} = 109 - \frac{378.65}{\sqrt{R_c}}$$

- e) Em estradas de faixa de rodagem e largura inferior a 6.00 m (qualquer tipo de berma):

$$VC_{85} = 103 - \frac{378.65}{\sqrt{R_c}}$$

Nestas equações:

$VC_{85}$  velocidade não impedida do tráfego em curva (km/h);

$R_c$  raio do arco circular da curva (m).

Para estimativa da velocidade não impedida em curvas de **estradas de dupla faixa de rodagem** sem regime de circulação de auto-estrada, considerou-se a equação para estradas de faixa de rodagem única com bermas pavimentadas, adoptando-se 7.75 m como valor da largura de

faixa de rodagem e 120 km/h como a velocidade de aproximação. A equação resultante, aplicável para curvas com raios de curvatura não inferiores a 450 metros em estradas de dupla faixa de rodagem, sem regime de circulação de auto-estrada é a seguinte [8]:

$$VC_{85} = 124 - \frac{201.6}{\sqrt{R_c}} \quad (R_c \geq 450 \text{ m})$$

Para o caso das auto-estradas considera-se uma equação semelhante à aplicável às restantes estradas de dupla faixa de rodagem, sujeita ao máximo de 146 km/h, o que corresponde ao medido nas auto-estradas portuguesas:

$$VC_{85} = 146 - \frac{201.6}{\sqrt{R_c}} \quad (R_c \geq 650 \text{ m})$$

Nestas equações:

$V_{85}$       velocidade não impedida do tráfego em curva (km/h);  
 $R_c$         raio do arco circular da curva (m).

Tanto no caso de faixa de rodagem única como no de dupla faixa de rodagem, as curvas circulares devem ter um desenvolvimento tal, que sejam percorridas em mais de 2 s à velocidade base (VB) [9].

No caso de duas curvas circulares sucessivas para o mesmo lado, deve haver entre elas um alinhamento recto com uma extensão mínima (m) igual a 20 VB (km/h), o que garante boas condições de homogeneidade de guiamento óptico [6]. No caso de não ser possível assegurar essa extensão, as duas curvas circulares devem ser substituídas por uma única.

### III.1.3.3. Raios mínimos absolutos (RA)

Quando um veículo percorre uma curva é sujeito a uma força centrífuga (F), cuja intensidade é dada por  $F = M V^2 / R$  (em que M representa a massa do veículo, V a velocidade e R o raio da curva). A resistência a esta força centrífuga é assegurada pela força de atrito transversal mobilizada na interface pneu-pavimento e pela componente do peso do veículo, com sentido contrário ao da força centrífuga, gerada pela introdução da sobrelevação. Nesta situação, a condição de equilíbrio em relação ao deslizamento lateral, permite deduzir a seguinte relação:

$$R = \frac{V^2}{127 (f_t + Se)}$$

em que:

V      velocidade (km/h);  
R      raio da curvatura (m);

Se       sobrelevação (% /100);  
 $f_t$      coeficiente de atrito transversal.

O coeficiente de atrito entre os pneus e um pavimento com gelo na sua superfície é de cerca de 0.1, o que significa que neste caso um veículo parado, ou que se desloque lentamente, tem tendência a deslizar para o centro da curva quando a sobrelevação for da ordem de 10%. Consequentemente, em vários países europeus, a sobrelevação é limitada actualmente a um máximo de 7%.

Atribuindo um valor máximo ao coeficiente de atrito transversal, correspondente a cada velocidade (Quadro VII), e o valor de 7% à sobrelevação, determinam-se os raios mínimos absolutos (Quadro VIII).

**Quadro VII - Coeficientes de atrito transversal**

Velocidade base (km/h)	$f_t$
40	0.16
50	0.16
60	0.15
70	0.14
80	0.14
90	0.13
100	0.12
110	0.10
120	0.09
130	0.08
140	0.06

Estes raios devem ser utilizados excepcionalmente, pois a sua utilização tem como consequência acelerações centrífugas de valor elevado, que, para velocidades base inferiores a 80 km/h, são próximas do máximo admissível para que ainda haja segurança e comodidade.

#### **III.1.3.4. Raios mínimos normais (RN)**

Os raios mínimos normais devem assegurar uma circulação segura e cómoda, pelo que são determinados de modo a que a aceleração centrífuga, no caso de um veículo circulando à velocidade base, tenha um valor correspondente a 50% do valor máximo admissível, considerado como 0.22 g, para efeito desta norma.

No Quadro VIII, apresentam-se os valores dos raios mínimos normais, os quais devem ser considerados nos projectos, excepto em casos especiais devidamente justificados.



**Quadro VIII - Raios mínimos em planta**

Velocidade base (km/h)	Raio mínimo absoluto RA (m)	Raio mínimo normal RN (m)
40	55	110
50	85	180
60	130	250
70	180	350
80	240	450
90	320	550
100	420	700
110	560	850
120	700	1000
130	900	1200
140	1200	1400

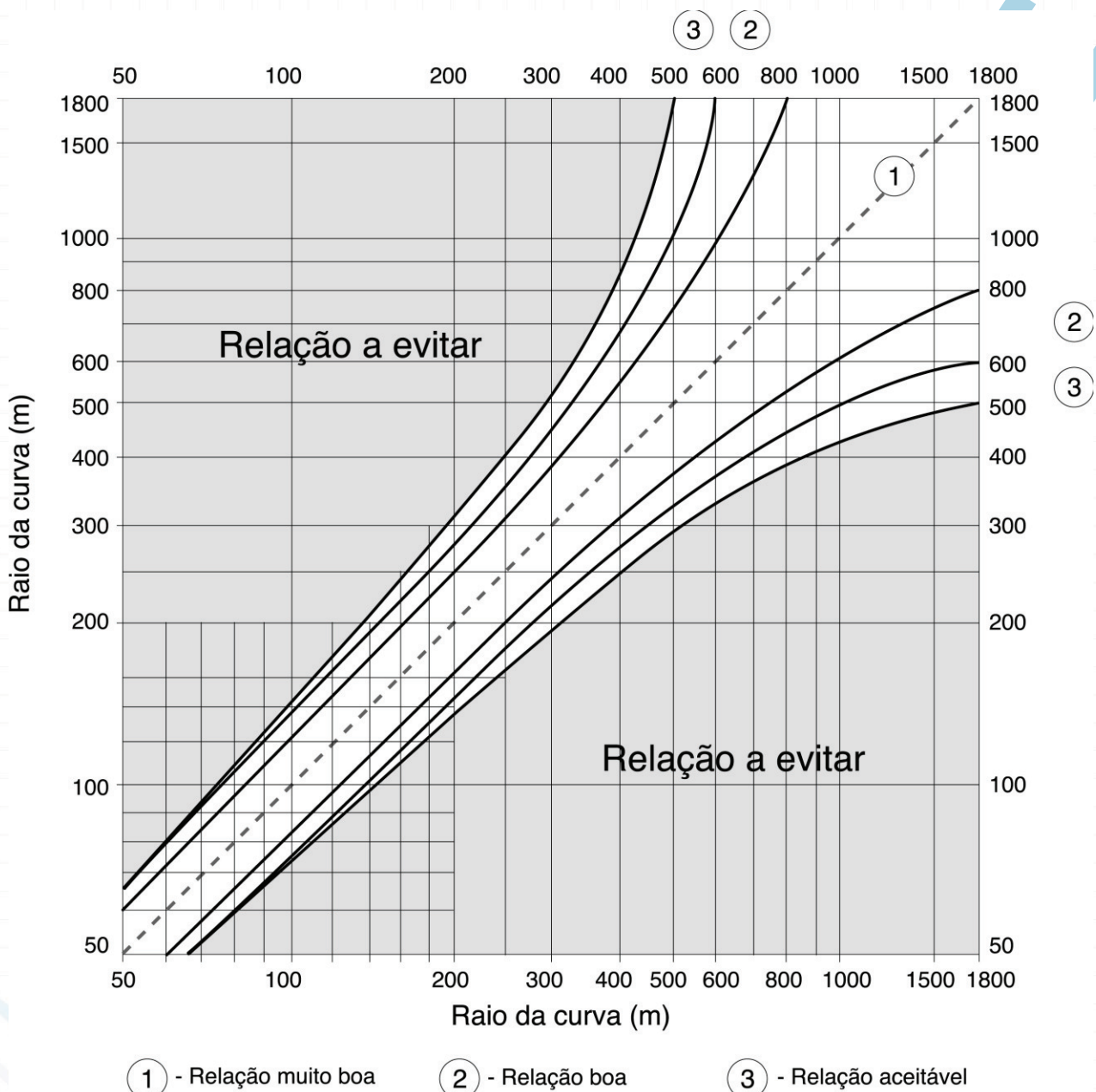
No Quadro XII apresentam-se em conjunto os parâmetros das curvas em planta, incluindo os parâmetros mínimos das clotóides (em III.1.4.1).

#### **III.1.3.5. Homogeneidade de traçado**

A fim de se obter um traçado homogéneo, o qual é necessário não só por razões de segurança mas também económicas e ambientais, deve haver uma correlação equilibrada entre os raios das sucessivas curvas circulares.

Para **estradas com faixa de rodagem** única o problema da homogeneidade de traçado pode ser abordado utilizando os procedimentos prescritos no Capítulo III.11.

Para **estradas com dupla faixa de rodagem** este objectivo pode ser alcançado desde que esses raios obedeçam ao definido no diagrama da Figura 2 [4]. Este diagrama foi definido com base na análise de acidentes e do comportamento dos condutores [5].



**Figura 2** - Traçado em planta de curvas circulares. Combinação de raios desejável

Os raios mínimos das curvas circulares devem ainda estar relacionados com a extensão dos alinhamentos rectos que os antecedem, de modo a assegurar um traçado homogéneo. Os comprimentos máximos e mínimos dos alinhamentos rectos são definidos de acordo com os critérios seguintes.

**a)** Se o comprimento do alinhamento recto (LR) é menor do que o valor do seu comprimento mínimo calculado ( $LR_{\min}$ ) [6] o que é relevante para a segurança é a relação entre as velocidades não impedidas ( $V_{1_{85}}$  e  $V_{2_{85}}$ ) das curvas consecutivas e não aquele comprimento, de acordo com o Quadro IX. Considera-se que  $V_{1_{85}}$  é a velocidade não impedida na curva imediatamente a montante do alinhamento recto e que  $V_{2_{85}}$  é a velocidade não impedida na curva imediatamente a jusante do alinhamento recto.

**Quadro IX** - Comprimento mínimo do alinhamento recto ( $LR_{\min}^7$ ) em função da velocidade não impedida

$V_{1_{85}}$ (km/h)	$V_{2_{85}}$ (km/h)								
	50	60	70	80	90	100	110	120	130
60	50								
70	109	59							
80		127	68						
90			145	77					
100				163	86				
110					182	95			
120						200	104		
130							218	113	
140								236	123

b) Se  $LR \geq LR_{\max}$  o alinhamento recto previsto permite uma aceleração até à  $V_{85}$  ( $LR_{\max}$ ) e uma desaceleração sequente (para  $V_{2_{85}}$ ). Os comprimentos máximos são dados pelo Quadro X e pelo Quadro XI, com os cálculos efectuados tomando  $V_{85}$  ( $LR_{\max}$ ) = 120 km/h para estradas sem acessos condicionados e  $V_{85}$  ( $LR_{\max}$ ) = 127 km/h, para estradas com acessos condicionados. Estes valores de  $V_{85}$  correspondem aos medidos em estradas portuguesas [7].

**Quadro X** - Estradas sem acessos condicionados. Comprimento máximo do alinhamento recto -  $LR_{\max}^8$

$V_{1_{85}}$ (km/h)	$V_{2_{85}}$ (km/h)						
	50	60	70	80	90	100	110
60	1030						
70	971	921					
80		853	794				
90			717	649			
100				563	486		
110					390	304	
120						200	104

<sup>7</sup> Eq. 18.7a de [6]

<sup>8</sup> Eq. 18.8a de [6]

**Quadro XI** - Estradas com acessos condicionados: Comprimento máximo do alinhamento recto -  $LR_{máx}$ <sup>9</sup>

$V_{1_{85}}$ (km/h)	$V_{2_{85}}$ (km/h)						
	50	60	70	80	90	100	110
60	1187						
70	1128	1078					
80		1010	951				
90			874	806			
100				720	643		
110					547	461	
120						357	261

c) Para  $LR_{min} < LR < LR_{máx}$  há que calcular a  $V_{85}$  da recta ( $VR_{85}$ ) pela expressão seguinte e verificar o critério de segurança  $\Delta V_{85} \leq 20$  km/h, entre  $VR_{85}$  e  $VC_{85}$ :

$$VR_{85} = \sqrt{11,016(LR - LR_{min}) + VC_{85}^2},$$

em que  $VC_{85}$  é a maior de  $V_{1_{85}}$  e  $V_{2_{85}}$ , velocidades nas duas curvas adjacentes ao alinhamento recto em análise.

### III.1.4. CURVAS DE TRANSIÇÃO

#### III.1.4.1. Funções e parâmetros de cálculo

As curvas de transição têm as seguintes funções:

- Assegurar a variação uniforme da aceleração centrífuga entre os alinhamentos rectos e as curvas circulares, a qual por razões de segurança e comodidade não deve exceder uma taxa de  $0.5 \text{ m/s}^3$ .
- Permitir efectuar convenientemente a introdução e supressão da sobrelevação e da sobrelargura.
- Melhorar a comodidade óptica do traçado, pelo que o ângulo de deflexão deve ser no mínimo de 3.5 graus.
- No caso de curvas de transição de pequena extensão o seu comprimento deve ser tal que sejam percorridas à *velocidade base*, em pelo menos 2 s.

Entre as possíveis curvas de transição devem ser adoptadas as clotóides, devido, nomeadamente, a questões de comodidade e segurança, já que um veículo circulando ao longo deste tipo de curva de transição, desde o alinhamento recto até à curva circular, a velocidade constante, está sujeito a uma variação uniforme da aceleração centrífuga.

<sup>9</sup> Eq. 18.8a de [6]



A clotóide tem a seguinte expressão:

$$A^2 = RL$$

sendo:

- A parâmetro da clotóide (m);
- R raio da curva circular (m);
- L extensão da clotóide (m).

Como o parâmetro A é uma constante o raio de curvatura é inversamente proporcional à abscissa curvilínea, medida a partir da origem da curva (ver Figura 3).

Relações simplificadas entre os principais parâmetros referidos na Figura 3:

$$\beta \approx 3\alpha \quad \text{e} \quad \beta = \frac{L}{2R} = \frac{L^2}{2A^2} = \frac{A^2}{2R^2}$$

$$X \approx L; \quad Y \approx \frac{L^2}{6R}; \quad \Delta R \approx \frac{L^2}{24R}$$

Em que:

- L desenvolvimento da curva de transição (m);
- R raio da curva circular (m);
- A parâmetro da clotóide de transição;
- $\beta$  ângulo da tangente em P com o eixo dos XX;
- $\Delta R$  ripagem da curva circular (m).

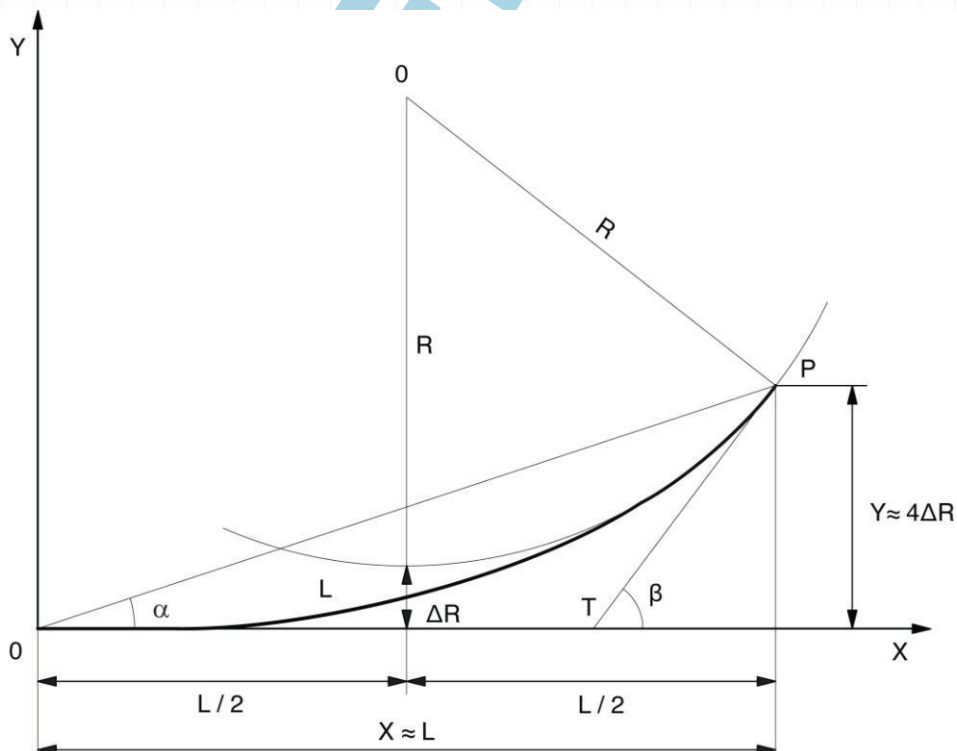


Figura 3 - Representação esquemática de uma clotóide no seu referencial próprio

O parâmetro da clotóide (A), a adoptar em cada caso, deve ser tal que, ao longo do seu traçado, a curva de transição satisfaça às funções referidas em a), b), c) e d), daí decorrendo as condições a que deve satisfazer aquele parâmetro (ou o desenvolvimento L da curva de transição), tal como se apresenta na sequência:

#### Condição a)

Para uma determinada velocidade (V, em km/h) e raio (R, em m) da curva circular a taxa de variação da aceleração centrífuga (j, em m/s<sup>3</sup>) é função da extensão (L, em m) da transição. Quanto menor for essa extensão maior é a taxa de variação da aceleração centrífuga. Estas grandezas estão relacionadas pela expressão:

$$L = \frac{0.0214 V^3}{R j}$$

Limitando j ao valor máximo admissível, já referido (j = 0.5 m/s<sup>3</sup>), vem:

$$L \geq 0.0214 V^3 / R \cdot 0.5 \text{ ou, re-exprimindo em termos do parâmetro A:}$$

$$A \geq 0.1463 \sqrt{V^3 / 0.5}$$

#### Condição b)

A transição da sobrelevação é tratada em III.4.2.4. Verifica-se que o comprimento desta transição (L) depende da extensão da curva de transição, da largura da faixa de rodagem e da inclinação longitudinal do bordo exterior da faixa de rodagem em relação ao eixo (obliquidade). Estes parâmetros estão relacionados pela expressão:

$$L = I Se / 2\Delta i$$

em que:

I largura da faixa de rodagem (m);

Se sobrelevação (%);

$\Delta i$  obliquidade, inclinação longitudinal do bordo exterior da faixa de rodagem em relação ao eixo (%).

Para um determinado raio e velocidade base definem-se valores de Se e de  $\Delta i$  máximo (ver Quadro XXIII, na secção III.4.2.5), calcula-se com estes valores a extensão mínima L da curva de transição, através da expressão anterior:

$$L \geq I Se / 2\Delta i_{\max}$$

Em termos do parâmetro A, a correspondente expressão vem:

$$A \geq \sqrt{RI Se / 2\Delta i_{\max}}$$

#### Condição c)

Impondo um ângulo mínimo de deflexão de 3.5 grados, a fim de se garantir uma boa percepção óptica do traçado nas zonas em curva, resultam as seguintes condições para o desenvolvimento e para o parâmetro da clotóide:

$$L \geq R / 9$$

ou:

$$A \geq R / 3$$

#### Condição d)

A esta última condição acresce outra resultante de as curvas de transição com pequena extensão serem desagradáveis esteticamente. Impondo uma extensão tal que seja percorrida à *velocidade base* em pelo menos 2 segundos, para um determinado raio e para essa velocidade, o desenvolvimento da clotóide deve satisfazer à expressão:

$$L \geq VB / 1.8$$

ou o parâmetro A à expressão:

$$A \geq \sqrt{R VB / 1.8}$$

Com R em m e VB em km/h.

O desenvolvimento (ou o parâmetro) a considerar é o correspondente ao valor mais elevado dos quatro determinados pelas expressões que traduzem as condições a), b), c) e d).

Verifica-se que: para as curvas de pequeno raio, o critério da comodidade é o que condiciona o valor de A; para valores normais do raio é o desenvolvimento da sobrelevação e para os grandes raios é a percepção óptica que prevalece.

#### Condição desejável

A extensão das duas curvas de transição associadas a uma curva circular deve, sempre que possível, estar compreendida entre 1/2 e 2/3 do desenvolvimento total do alinhamento curvo.

No Quadro XII indica-se o valor mínimo do parâmetro da clotóide (A) em função da *velocidade-base*.

**Quadro XII** - Parâmetros das curvas em planta

PARÂMETRO	VELOCIDADE BASE (km/h)										
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Raio mínimo normal - RN (m)	110	180	250	350	450	550	700	850	1000	1200	1400
Extensão mínima das curvas (3 VB) [11]	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420
Parâmetro mínimo da clotóide (A)	52	73	96	121	150	183	233	283	333	400	466
Raio mínimo sem sobrelevação - RS (m)	≥ 2500							≥ 5000			

**Nota :** A Condição a) foi relevante para VB ≤ 70 km/h e a Condição d) para VB > 70 km/h

Quando não for possível assegurar o desenvolvimento mínimo das curvas circulares, estas devem ser dadas a conhecer tão cedo quanto possível, como seja em alinhamentos rectos extensos, sendo neste caso conveniente a escolha de um parâmetro de clotóide reduzido

( $A = R/3$ ). A transição é assim menos suave do ponto de vista óptico, induzindo sensação de maior perigo; os condutores alertados reduzem a velocidade.

### Dispensabilidade

As curvas de transição são dispensadas quando as curvas circulares não necessitam de sobrelevação.

#### III.1.4.2. Aplicações

Quanto à utilização de curvas de transição, há a considerar os seguintes casos:

##### a) Casos normais

##### a1) Dois alinhamentos rectos e uma curva circular – Figura 4:

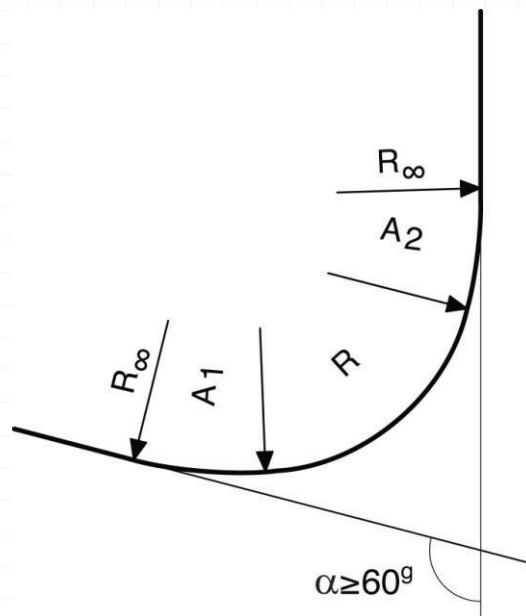


Figura 4 - Dois alinhamentos rectos e uma curva circular

De preferência os parâmetros das clotóides devem ser iguais.

No caso de tal não ser possível, a relação entre os parâmetros  $A_1$  e  $A_2$  das duas clotóides a introduzir deve satisfazer a:

$$2/3 \leq A_1 / A_2 \leq 3/2$$

Conforme referido, a extensão das duas curvas de transição deve, sempre que possível, estar compreendida entre 1/2 e 2/3 do desenvolvimento total do alinhamento curvo.

O ábaco da Figura 5 permite determinar o raio mínimo da curva circular em função do ângulo dos alinhamentos rectos e da velocidade, para  $\alpha < 60^\circ$ .



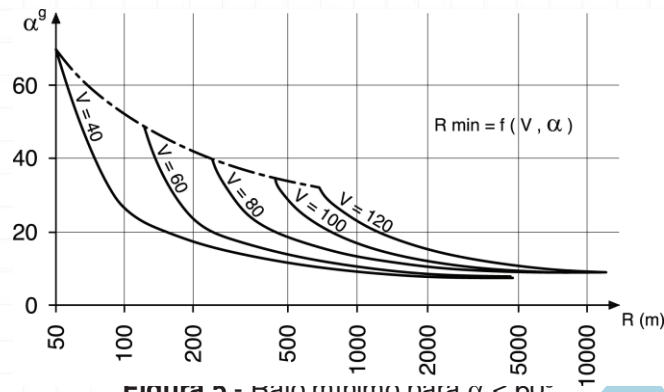
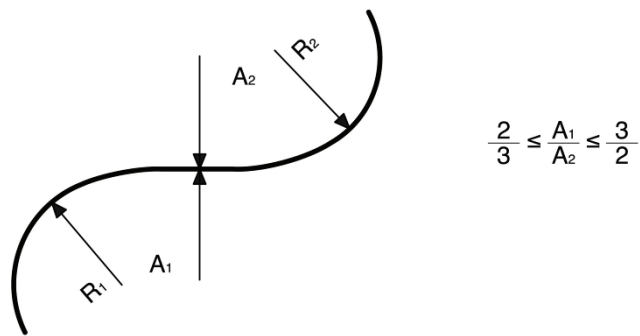


Figura 5 - Raio mínimo para  $\alpha < 60^\circ$

**a2) Duas curvas circulares de sentido contrário** – Figura 6 (a).

Os parâmetros das clotóides devem ser semelhantes, e de preferência o mesmo.

a) Curvas Circulares de Sentido Contrário



b) Curvas Circulares do Mesmo Sentido (clotóides ovais)

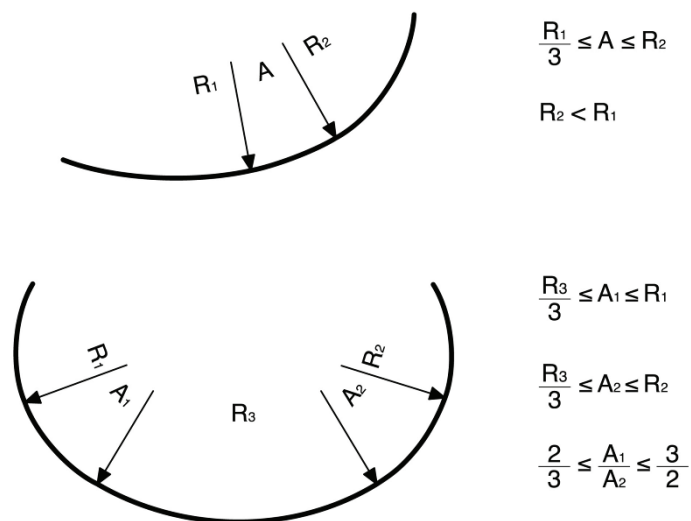


Figura 6 – Curvas de transição – casos normais

Os raios das curvas circulares devem respeitar os critérios de homogeneidade de traçado definidos no parágrafo 11.3 desta norma.

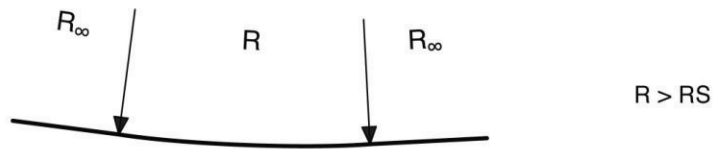
**a3) Duas curvas do mesmo sentido** – Figura 6 (b). Uma das curvas pode ser interior à outra, ou podem ser secantes.

Também neste caso, os raios das curvas circulares devem respeitar os critérios de homogeneidade referidos na alínea anterior.

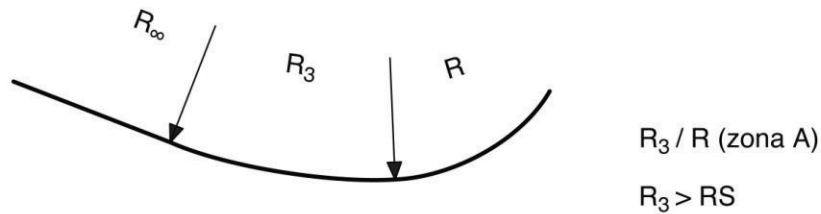
**b) Casos particulares** – Figura 7 (adaptada de [10])

**b1) Dois alinhamentos e uma curva circular de grande raio sem curva de transição.**

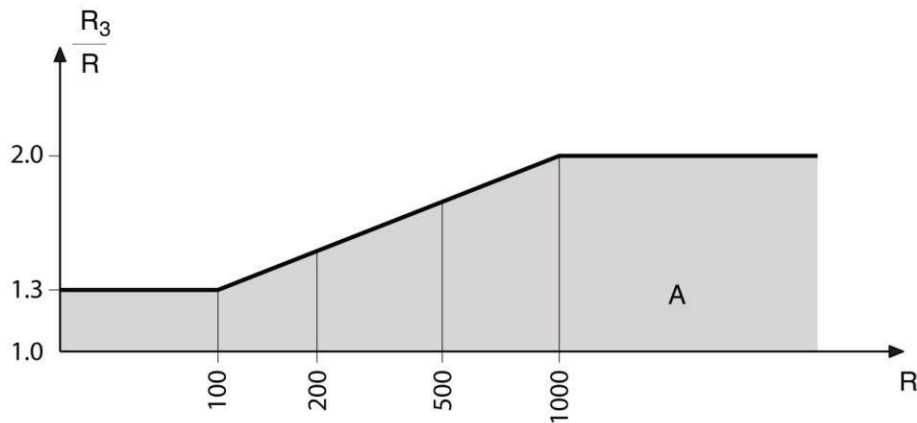
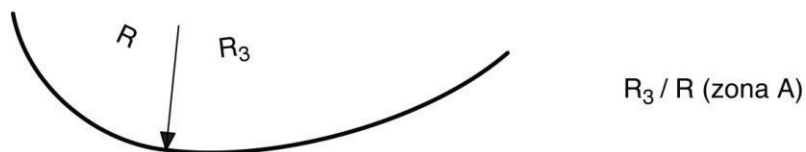
b1) Curva de grande raio sem sobrelevação



b2) Curva de transição circular



b3) Duas curvas sem curva de transição



**Figura 7 - Curvas de transição – casos particulares**

Neste caso o raio da curva circular deve ser tal que não seja necessária sobrelevação (RS – ver Quadro XII).

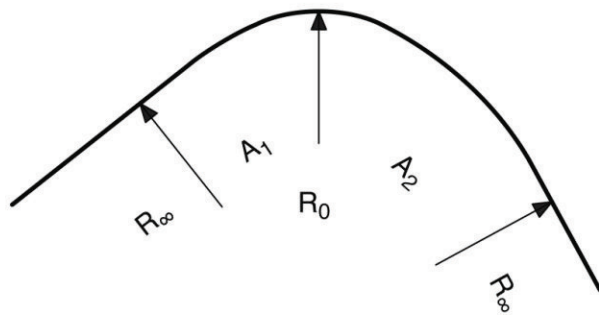
**b2) Substituição da curva de transição por um arco de círculo.**

**b3) Duas curvas circulares sem curva de transição.**

A relação dos raios neste caso deve ser a indicada – zona A do gráfico.

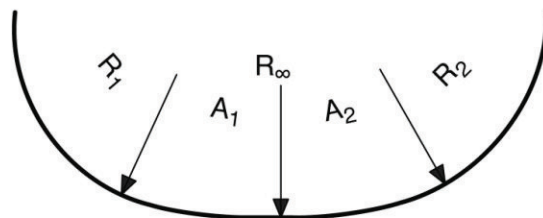
**c) Casos a evitar por motivos de segurança – Figura 8.**

c1) Clotóide no Vértice

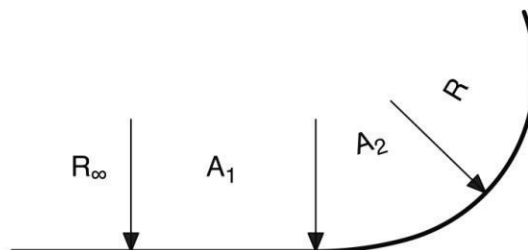


$$A_1 \approx A_2$$
$$R_0 \geq 1.4 RN$$

c2) Curvas de Transição com o Mesmo Sentido



c3) Curvas de Transição Consecutivas



**Figura 8 - Curvas de transição – casos a evitar**

### **c1) Clotóide de vértice.**

Quando não for possível evitar este caso, os parâmetros das clotóides devem ser idênticos ( $A_1 = A_2$ ), e o raio  $R_o$  da curva osculadora deve ser pelo menos igual a 1.4 vezes o raio determinado pelo diagrama da Figura 5 ( $R_{min}$ ), e sempre superior a 500 m.

### **c2) Duas curvas de transição do mesmo sentido – clotóide C**

### **c3) Duas curvas de transição consecutivas.**

## **III.1.5. CONDIÇÕES DE SEGURANÇA E COMODIDADE**

### **III.1.5.1. Generalidades**

Considera-se necessário garantir duas condições básicas para que o traçado em planta seja seguro e cómodo:

- a) Homogeneidade.
- b) Distâncias de visibilidade de acordo com a *velocidade do tráfego*.

Com efeito, o traçado deve estar de acordo com a expectativa dos condutores, que é o processo pelo qual estes, em função de um estímulo provocado pelas condições de circulação, reagem de acordo com a experiência obtida anteriormente perante estímulos idênticos.

### **III.1.5.2. Visibilidade em curva**

A distância de visibilidade de paragem deve ser assegurada nos alinhamentos curvos.

Quando se verificarem restrições de visibilidade, devido à existência de uma obstrução lateral (como o pilar de uma estrutura, construções, o talude de uma escavação, a parede de um túnel, um dispositivo de retenção, uma barreira acústica, o acrotério de uma obra de arte, etc.), o raio mínimo da curva circular deve ser determinado tendo em conta também a distância de visibilidade de paragem. Admite-se que a linha de visibilidade intersecte a obstrução a meio da mesma e a 0.60 m de altura.

A distância de visibilidade é medida entre o eixo da via interior e a obstrução.

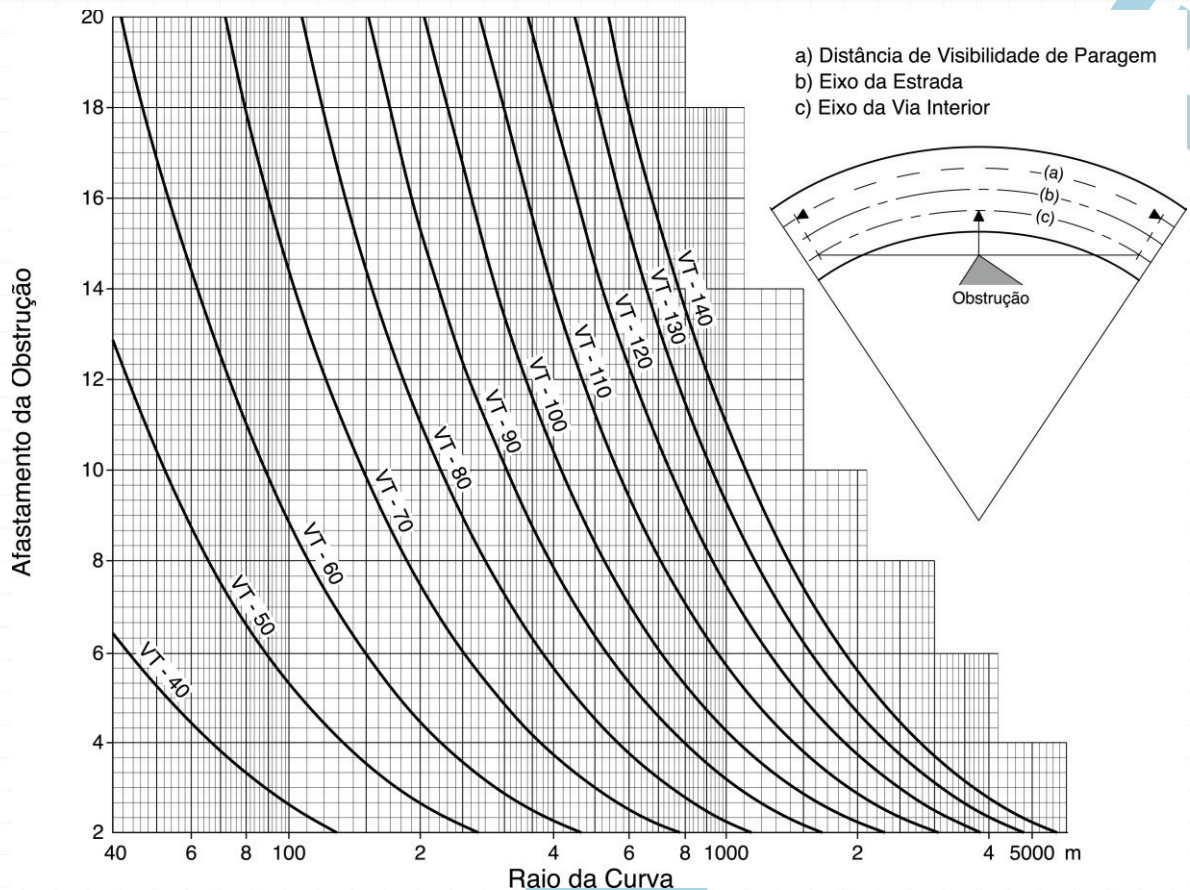
A distância mínima ( $H_c$ , em m) de afastamento da obstrução (ou de desobstrução lateral) numa curva circular pode calcular-se pela expressão:

$$H_c = DP^2 / 8 / R$$

em que  $DP$  é a distância de visibilidade de paragem e  $R$  é o raio da curva, ambos em m.

O ábaco da Figura 9 permite calcular a distância mínima desde uma obstrução ao eixo da via interior, a fim de se garantir a distância de visibilidade de paragem em função do raio e da *velocidade do tráfego* ( $VT$ ).





**Figura 9 - Visibilidade nas curvas em função da velocidade do tráfego (VT)**

### III.1.5.3. Extensão mínima das curvas

A extensão mínima das curvas circulares ( $E_m$ , em m) deve ser tal que um veículo que circule à velocidade base as percorra em pelo menos 2 s. No entanto recomenda-se que a sua extensão seja normalmente superior a esse mínimo (ver Quadro XII). Para ângulos de deflexão, ou desvio, inferiores a 6 graus a extensão mínima da curva é dada pela expressão [11]:

$$E_m = 33.33 (9.5 - \alpha)$$

em que  $\alpha$  é o ângulo de deflexão em graus.

No Quadro XIII indicam-se os desenvolvimentos mínimos calculados pela expressão anterior e indicam-se os raios mínimos das curvas circulares, sem curvas de transição, correspondentes àqueles desenvolvimentos.

**Quadro XIII - Concordância de alinhamentos quase colineares**

Ângulo de deflexão ( $^\circ$ )	5	4	3	2	1
Desenvolvimento mínimo dos alinhamentos curvos (m)	150	180	215	250	280
Raio correspondente (m)	1900	2900	4600	8000	18000

Para ângulos de deflexão iguais ou superiores a 6 graus, a extensão das curvas deve ser no mínimo de 150 m. Sempre que se utilizem curvas de transição é considerado 50% da extensão das mesmas para efeito da determinação da extensão mínima das curvas. Estas recomendações não se aplicam aos ramos dos nós de ligação nem a *intersecções*.

Deve ter-se em atenção que quanto maior é a distância a que as curvas são vistas mais distorcidas parecem, pelo que em situações de visibilidade a grandes distâncias se deve aumentar o seu desenvolvimento.

#### **III.1.5.4 Intersecções**

As *intersecções* são zonas de maiores frequências de conflito e probabilidade de acidentes, pelo que os alinhamentos das estradas que se intersectam devem permitir que os condutores se apercebam facilmente das características da intersecção e executem as manobras necessárias para adequar o comportamento de condução ao seu atravessamento com segurança.

Consequentemente, as *intersecções* devem localizar-se em alinhamento recto e os seus ramos intersectar-se segundo um ângulo recto. É normalmente vantajoso alterar o alinhamento da estrada secundária de modo a verificar esta condição.

#### **III.1.5.5 Integração no meio ambiente**

O projectista deve considerar sempre a integração das características geométricas do traçado com o meio ambiente e o terreno adjacente.

Com essa finalidade devem respeitar-se, sempre que possível, as seguintes recomendações, que aliás resumem o que já foi referido anteriormente:

- evitar utilizar os raios mínimos absolutos (RA);
- 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 (Figura 2);
- a seguir a um alinhamento recto extenso a redução dos raios das curvas, se necessária, deve ser gradual, a fim de os condutores poderem reduzir a velocidade com comodidade e segurança;
- não se devem adoptar curvas de pequeno raio em aterros com cotas elevadas. Com efeito, devido à inexistência de referências acima da plataforma, os utentes têm dificuldade em estimar o raio da curva, e consequentemente adaptar-se às condições existentes;
- devem evitar-se mudanças bruscas de direcção de traçado. Quando duas curvas de sentido contrário são próximas é difícil introduzir a sobrelevação conveniente, originando uma condução difícil e perigosa. Um bom traçado deve permitir introduzir as clotóides com a extensão necessária entre duas curvas circulares;
- as curvas em planta devem condicionar as concordâncias verticais.

## **III.2 - TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL**

### **III.2.1. GENERALIDADES**

O perfil longitudinal é constituído por trainéis e concordâncias verticais (parabólicas). A definição do perfil longitudinal deve ter em consideração a topografia, o traçado em planta, a distância de visibilidade, a segurança, os custos de construção, a drenagem e a integração no meio ambiente.

Em terreno plano o perfil longitudinal é normalmente controlado pelas exigências de drenagem.

Em terreno ondulado, é aconselhável que o perfil longitudinal também o seja, o que aliás muitas vezes tem vantagens económicas. No entanto, deve ter-se em consideração o aspecto estético do traçado. Com efeito, devem evitar-se, sempre que possível, alinhamentos rectos que tenham várias quebras visíveis a grande distância.

No caso de terreno difícil, o perfil longitudinal depende essencialmente dos condicionamentos topográficos. A comparação de perfis alternativos deve ter como base a sua análise económica.

Deve procurar adaptar-se a estrada ao terreno, de modo a diminuir o custo da construção.

Quando o nível freático estiver próximo da superfície do terreno natural, a rasante deve ser definida de modo a ficar suficientemente afastada daquele.

### **III.2.2 TRAINÉIS**

#### **III.2.2.1. Inclinação máxima**

Nos trainéis com grande inclinação e extensão apreciável, deve ter-se em atenção a redução da velocidade, sobretudo dos veículos pesados, do que resulta uma diminuição do nível de serviço e um aumento dos custos de operação. Deve também considerar-se a necessidade de maiores distâncias de travagem nas descidas.

A inclinação máxima dos trainéis deve ser a constante do Quadro XIV.

Os trainéis com a inclinação máxima referida neste quadro não devem ter extensão superior a 3 km, mesmo que sejam construídas vias suplementares para ultrapassagem dos veículos lentos.

No caso de terreno acidentado os limites referidos no Quadro XIV podem ser aumentados de 1% em trainéis com a extensão máxima de 600 m, e de 2% em trainéis com a extensão máxima de 300 m.



**Quadro XIV - Inclinação máxima dos trainéis**

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

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

As inclinações máximas referidas no Quadro XIV são satisfatórias para a maioria das situações e permitem normalmente terraplanagens económicas. No entanto, no caso de terreno acidentado, se as implicações das inclinações máximas no custo de construção e no meio ambiente forem demasiado severas, deve proceder-se a um estudo económico comparativo dos custos de construção e ambientais com os custos de operação (custos associados a perdas de tempo, ao consumo de combustíveis, à ocorrência de acidentes, etc.). Em geral, os estudos económicos revelam que, embora haja nítidos encargos para os utentes com o recurso a inclinações superiores às desejáveis, o aumento de custos resultante de um perfil mais suave só se justifica normalmente para volumes de tráfego muito elevados.

Na zona das *intersecções* a inclinação do trainel da estrada principal deve ser, no máximo, 4%.

### III.2.2.2. Inclinação mínima

Devem evitar-se trainéis com inclinação muito pequena, sobretudo quando coincidirem com uma sobrelevação também diminuta.

A inclinação mínima dos trainéis deve ser 0.5%, a fim de se assegurar uma drenagem satisfatória das águas superficiais.

Nas zonas em curva a inclinação do trainel deve ser superior à obliquidade, ou seja:

$$i - \Delta i \geq 0.5\%$$

em que:

- i      inclinação do trainel (%);
- $\Delta i$     obliquidade, inclinação longitudinal do bordo exterior da faixa de rodagem em relação ao eixo (%).

### III.2.2.3. Extensão crítica dos trainéis

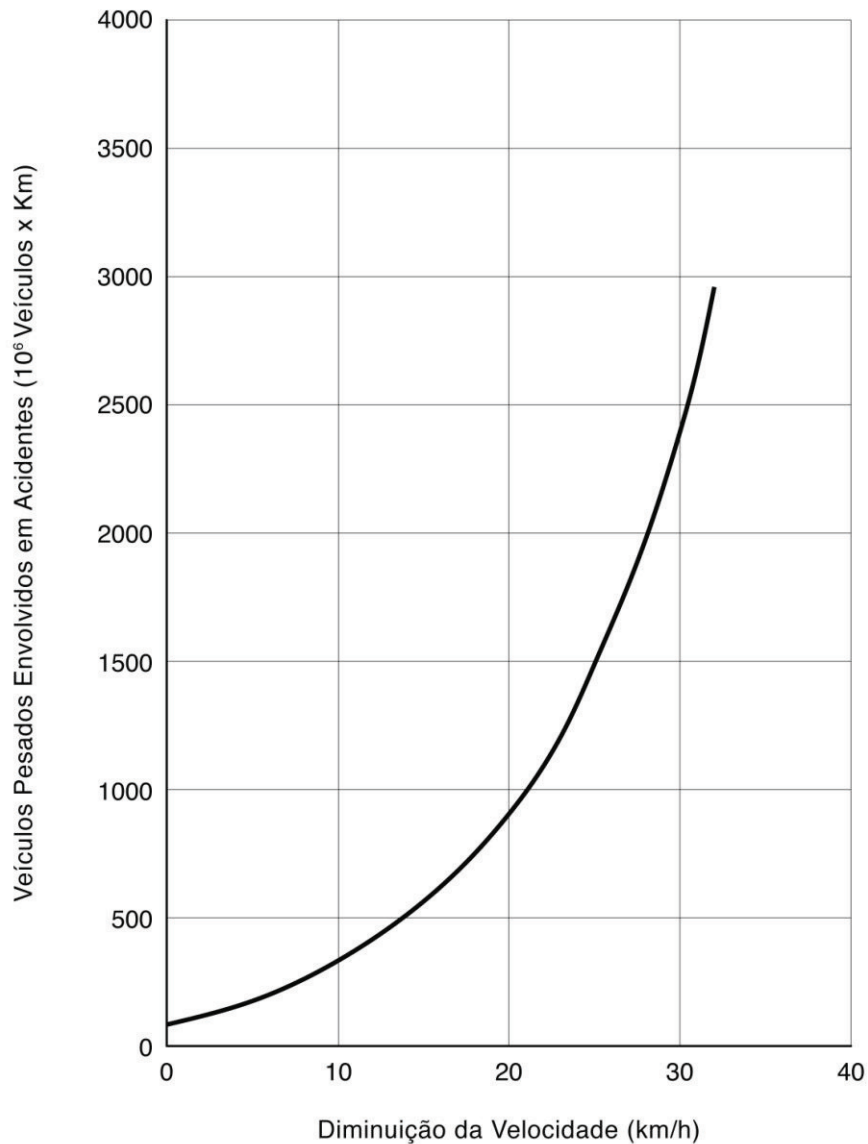
A inclinação máxima não assegura por si só o necessário controlo dos trainéis. Com efeito, é necessário considerar também a sua extensão, pois é a respectiva conjugação que afecta a capacidade de tráfego, o nível de serviço e as perdas de tempo dos veículos. O critério normalmente adoptado para a definição da extensão crítica dos trainéis é baseado na diminuição da velocidade dos veículos pesados, relativamente à dos ligeiros. Consequentemente, a extensão



crítica dum trainel é a máxima extensão que um trainel pode ter sem provocar uma excessiva redução da velocidade dos veículos pesados.

Como é sabido, seja qual for a velocidade média do tráfego, quanto maior for a diferença entre as velocidades dos veículos e essa média, maiores são as probabilidades de acidentes.

De acordo com estudos de acidentes com veículos pesados, verifica-se que o número de veículos envolvidos é tanto maior quanto menor é a sua velocidade relativamente à velocidade média do tráfego; relação esta que é logarítmica, como exemplificado na Figura 10 [12].



**Figura 10** - Acidentes com veículos pesados em rampas

Verifica-se que a taxa de envolvimento dos veículos pesados em acidentes cresce muito rapidamente para diminuições de velocidade dos pesados superiores a 15 km/h.

Consequentemente, o critério utilizado para a determinação da extensão crítica de um trainel é o comprimento necessário para uma redução de velocidade dos veículos pesados de 15 km/h.

Admitindo que a velocidade dos veículos pesados no início do trainel é de 90 km/h, as extensões críticas são as indicadas no Quadro XV [13].

**Quadro XV** - Extensões críticas dos trainéis

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

Estes valores são essencialmente um guia para os projectistas. Conforme referido mais pormenorizadamente em III.2.4, quando a extensão crítica de um trainel é excedida, em princípio, é de considerar uma via adicional para os veículos lentos, principalmente quando os volumes de tráfego e a percentagem de veículos pesados são elevados.

### III.2.3. CONCORDÂNCIAS VERTICAIS

#### III.2.3.1. Generalidades

Considerações de visibilidade e de comodidade obrigam a que a variação da curvatura em perfil longitudinal seja mantida dentro de certos limites. A adopção de concordâncias parabólicas assegura uma variação constante da curvatura.

Para velocidades elevadas a comodidade está de antemão garantida, pois a necessidade de assegurar a visibilidade obriga a concordâncias convexas com grandes raios. Pelo contrário as concordâncias côncavas, com boa visibilidade, são muitas vezes definidas no limite da comodidade.

Devem evitar-se concordâncias verticais do mesmo sentido, separadas por um trainel com pequena extensão, principalmente em concordâncias côncavas, cujos efeitos ópticos são muito desagradáveis.

As concordâncias verticais devem, tanto quanto possível, adaptar-se convenientemente ao terreno, não só para serem melhor integradas na paisagem, como para reduzir os custos de construção.

Na zona centrada no ponto de tangente horizontal das concordâncias verticais<sup>10</sup> deve assegurar-se que as bermas tenham a inclinação mínima normal, a fim de se garantir a drenagem. Com efeito, nessa zona verificam-se inclinações longitudinais inferiores a 0.5%, sendo a sua extensão dada pela expressão:

$$Z_v = R_v / 100$$

em que:

- Z<sub>v</sub> extensão da zona com inclinação longitudinal ≤ 0.5% (m);
- R<sub>v</sub> raio da concordância vertical (m).

<sup>10</sup> Este ponto só existe em concordâncias de trainéis com inclinações de sinais contrários. A abcissa deste ponto é dada por  $R_v \times i_e$ , em que  $R_v$  é o raio da concordância e  $i_e$  é a inclinação do trainel da esquerda, em %/100.

### III.2.3.2. Concordâncias convexas

O raio das concordâncias convexas é condicionado pela necessidade de assegurar a distância de visibilidade de paragem.

Em princípio há a considerar duas hipóteses quanto à distância de visibilidade de paragem, pois pode ser menor ou maior do que a extensão da concordância. Verifica-se porém que o caso da distância de visibilidade de paragem ser superior à extensão da concordância só tem interesse prático para verificação da distância de visibilidade de ultrapassagem (DU).

A partir das distâncias de visibilidade de paragem (DP) indicadas no Quadro IV calculam-se os correspondentes raios pela expressão:

$$R_v = \frac{DP^2}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} = 0.25 DP^2$$

em que:

- DP distância de visibilidade de paragem (m);
- h1 altura ocular (1.05 m);
- h2 altura do objecto (0.15 m).

No Quadro XVI indicam-se, depois de arredondados, os valores mínimos dos raios das concordâncias convexas, assim como o seu desenvolvimento mínimo. Este desenvolvimento tem por finalidade assegurar conforto óptico aos condutores. Os raios mínimos absolutos são calculados para um objecto com a altura de 0.60 m.

Em zonas de decisão, tais como na aproximação à divergência de um ramo de saída, é necessário assegurar maiores distâncias de visibilidade, nomeadamente a distância de visibilidade de decisão (DD = 3.3 VT, como já referido em II.6.3).

**Quadro XVI - Raio mínimo das concordâncias convexas**

Velocidade Base VB (km/h)	Velocidade do Tráfego VT (km/h)	Raio mínimo		Desenvolvimento mínimo	
		Absoluto (a) (m)	Normal (m)	Absoluto (a) (m)	Normal (m)
40	50	1500	1500	40	60
50	60	1500	2100	50	60
60	80	2000	3000	60	120
70	90	3000	4200	70	120
80	100	5000	6000	80	120
90	110	7500	8500	90	120
100	120	9000	12500	100	120
110	125	12000	13000	110	120
120	130	14000	16000	120	120
140	140	20000	20000	140	140

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

Em pontos singulares de estradas secundárias de pequena extensão (VB igual a 40 km/h ou a 50 km/h), onde a adopção destes mínimos não tenha justificação económica, podem ser utilizados raios inferiores, mas nunca inferiores aos calculados pela fórmula anterior –  $R_v = 0.25 DP^2$ .

Sempre que seja necessário assegurar a DU deve seguir-se a metodologia da Disposição Técnica “Sinalização de proibição de ultrapassagem”, publicada pelo INIR.

### III.2.3.3. Concordâncias côncavas

O desenvolvimento das concordâncias côncavas, e conseqüentemente o seu raio, é condicionado pela necessidade de assegurar a visibilidade nocturna com os faróis dos veículos e pela comodidade (a aceleração vertical não deve ultrapassar  $0.25 \text{ m/s}^2$ ). O critério predominante é, sempre, o relativo à visibilidade nocturna.

Para assegurar que os faróis iluminem uma distância superior à distância de visibilidade de paragem (DP), considerando a altura dos faróis igual a 0.75 m e o ângulo formado pelo raio luminoso de maior pendente com o eixo longitudinal do veículo igual a  $1^\circ$ , o raio é calculado pela expressão:

$$R = \frac{DP^2}{1.5 + 0.035 DP}$$

No Quadro XVII referem-se os valores mínimos desejáveis para o raio das concordâncias côncavas e para o respectivo desenvolvimento mínimo.

**Quadro XVII - Raio mínimo das concordâncias côncavas**

Velocidade base VB (km/h)	Velocidade do Tráfego VT (km/h)	Raio mínimo (m)	Desenvolvimento mínimo (m)
40	50	800	60
50	60	1200	60
60	80	1600	120
70	90	2500	120
80	100	3500	120
90	110	4500	120
100	120	5500	120
110	125	6000	120
120	130	7000	120
130	135	8000	140
140	140	800	140

No Quadro XVIII resumem-se os parâmetros fundamentais do traçado em perfil longitudinal.



**Quadro XVIII - Parâmetros fundamentais do traçado em perfil longitudinal**

Parâmetro	Velocidade base (VB) (km/h)									
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140
Inclinação máxima do trainel e Extensão crítica (m)	8% 120	8% 120	7% 150	7% 150	6% 180	5% 230	5% 230	4% 265	4% 300	3% 420
Raio mínimo normal das concordâncias con- vexas (m)	1 500	2 100	3 000	4 200	6 000	8 500	12500	13000	16000	20000
Raio mínimo das con- cordâncias côncavas (m)	1000	1500	2500	3500	3500	4500	5500	6000	7000	8 000
Desenvolvimento míni- mo normal das curvas de concordância (m)	60		120						140	

### III.2.4. VIAS ADICIONAIS

O procedimento a seguir na definição de trechos com possibilidade de ultrapassagem em estradas de faixa única, com dois sentidos é o seguinte:

1. O traçado em planta e em perfil longitudinal deve proporcionar o maior número possível de trechos com distância de visibilidade de ultrapassagem.
2. Deve ser considerado o efeito da falta de oportunidades de ultrapassagem na redução do nível de serviço, quando o volume de tráfego de projecto se aproxima do volume de serviço correspondente à categoria da estrada.
3. Sempre que a extensão de um trainel for superior à crítica, devem ser previstas vias adicionais em rampa.
4. Sempre que a extensão e a frequência das oportunidades criadas pela aplicação dos critérios 1 e 3 não sejam suficientes, devem ser previstas vias adicionais de ultrapassagem.

Os trechos de ultrapassagem são construídos em estradas de faixa única, com dois sentidos, para proporcionar a necessária percentagem de zonas com possibilidade de ultrapassagem, para eliminar a interferência de veículos pesados e lentos ou por ambas as razões.

Quando o traçado com duas vias não permitir um número suficiente de trechos com possibilidade de ultrapassagem, pode ser introduzida uma via de tráfego adicional, num ou em ambos os sentidos, para proporcionar mais oportunidades de ultrapassagem. Estes trechos são particularmente vantajosos em terreno ondulado, nomeadamente quando o traçado é sinuoso ou quando o perfil tem trainéis de extensão crítica.

Em terreno ondulado um alinhamento recto pode ter restrições à ultrapassagem mesmo que as inclinações dos trainéis sejam inferiores às críticas.

Os trechos de ultrapassagem devem ser suficientemente extensos (acima de 0.5 km) para permitir que os vários veículos que seguem atrás de um veículo lento possam ultrapassá-lo antes de a estrada retomar o seu perfil transversal normal de 1x1 vias (adaptado de [11]).

### III.2.4.1 Transições

A transição de perfil transversal (entre duas e três ou quatro vias de tráfego) deve ser projectada de modo a garantir uma operação segura e eficiente. O comprimento do bisel de eliminação de uma via adicional deve ser calculado a partir da fórmula [14]

$$B = 0.6 l VB$$

em que:

- B Comprimento do bisel (m);
- l Largura (m);
- VB Velocidade base (km/h).

O comprimento do bisel de introdução de uma via adicional ( $B_{ent}$ ) deve estar compreendido entre metade e dois terços do comprimento B. No Quadro XIX são indicados os comprimentos dos biséis para uma via adicional de 3.5 m de largura.

**Quadro XIX** - Biséis de vias adicionais para  $l = 3.5$  m

VB (km/h)	60	70	80	90	100	110	120	130	140
B (m)	125	150	170	190	210	230	250	270	300
$B_{ent}$ normal (m)	85	100	115	125	150	155	170	180	200

As transições entre as diferentes larguras da plataforma devem ser localizadas onde a mudança na largura da faixa de rodagem é completamente perceptível pelo condutor a distância conveniente (DD). Os trechos de 2x2 vias, particularmente os com separador central, mais extensos do que 3 km podem induzir no condutor a sensação de que se trata de uma estrada de dupla faixa de rodagem e não de uma estrada de faixa única (1x1 ou 1x2 vias). É essencial que as transições de um trecho de três ou quatro vias para um trecho de duas vias (1x1) sejam devidamente identificadas com marcação rodoviária e sinalização vertical para alertar os condutores da proximidade do estreitamento.

Deve ser respeitada a **regra de única de rebatimento da esquerda sobre a direita**. A solução utilizada deve ser igual em todas as situações de eliminação de uma via de tráfego, tanto em ramos de nós de ligação como em secção corrente, com faixa de rodagem única ou dupla faixa de rodagem, de modo a evitar qualquer ambiguidade.

Assim a eliminação de uma via de tráfego faz-se sempre à esquerda no caso da supressão de uma via adicional e no da transição de dupla faixa de rodagem para faixa única.

### III.2.4.2 Vias adicionais em rampa

A liberdade e a segurança de operação nas estradas com duas vias depende, em larga medida, da extensão das zonas onde é possível efectuarem-se ultrapassagens, assim como da sua frequência.

A existência de trainéis com grande extensão implica, porém, a redução da velocidade dos veículos pesados e dos veículos que os seguem, principalmente quando os volumes são elevados, tendo como consequência uma diminuição do nível de serviço. Em estradas com pequenos volumes de tráfego, as vias adicionais para veículos lentos, embora desejáveis, não têm justificação económica, mesmo que a extensão do trainel seja superior ao seu valor crítico.

Consequentemente, a construção de uma via adicional para veículos lentos é determinada pela necessidade de manter o nível de serviço previsto no resto do traçado. A existência de trainéis com extensões superiores às críticas (Quadro XV) constitui, pois, como referido em III.2.2.3 uma indicação para o projectista no sentido de verificar a necessidade ou não da referida via adicional, com base em informação complementar, relacionada nomeadamente com as características previsíveis do tráfego.

Os benefícios resultantes da construção de vias adicionais são tanto maiores quanto maior for a inclinação do trainel.

Verifica-se ainda que os benefícios resultantes são mínimos no caso de trainéis com inclinação inferior a 4%.

As vias adicionais com pequena extensão causam impaciência aos condutores que desejam aproveitá-las para ultrapassar, pelo que a extensão mínima desejável para uma via adicional é da ordem de 500 m, excluída a extensão das transições.

Nas estradas com dupla faixa de rodagem não são usadas normalmente vias adicionais para lentos, pois estas estradas têm em geral capacidade suficiente. No entanto, quando se verifica a sua necessidade no ano horizonte, é economicamente vantajoso considerá-las no projecto inicial, embora a sua construção se verifique apenas quando necessário. As terraplenagens dessa via devem, contudo, ser executadas quando da construção da estrada.

Conforme tratado com maior profundidade em III.2.4.1, nos extremos das vias adicionais há a considerar a transição, em perfil transversal, de uma para duas vias e destas para uma via, constituída pelo bisel na entrada e pela transição final que inclui o bisel de extensão B (Quadro XIX).

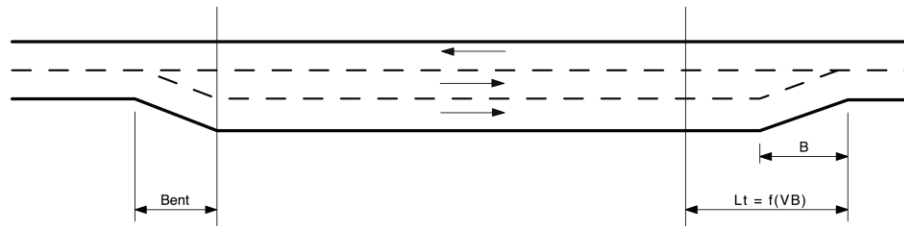
No caso de vias adicionais em rampa, deve ser considerada no traçado em perfil longitudinal uma extensão da transição final ( $L_t$ , em m), função da velocidade base, sendo os valores desejáveis os constantes do Quadro XX, para garantir-se uma adequada distância de visibilidade na zona de convergência. Com efeito, se esta distância for limitada não permite aos condutores aperceberem-se a tempo dos veículos que circulam em sentido contrário, criando-se situações de perigo potencial. Na Figura 11 referem-se esquematicamente as referidas transições e o perfil transversal tipo.



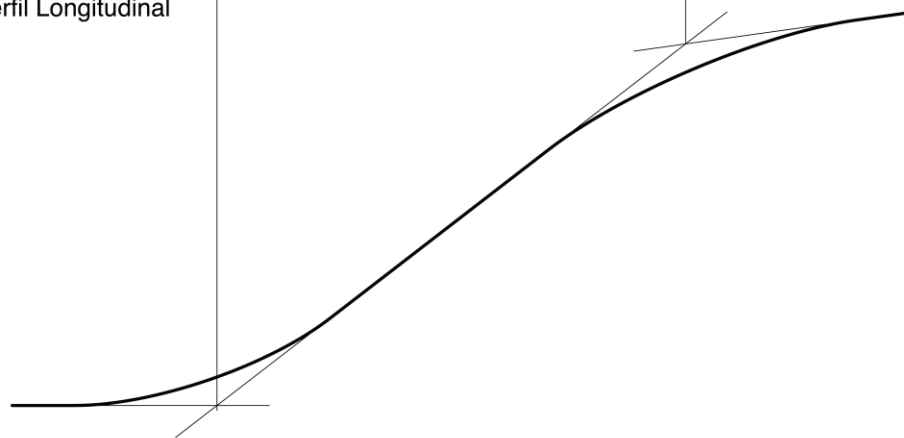
**Quadro XX - Convergência das vias adicionais em rampa**

Velocidade base (km/h)	60	80	100	120	140
Extensão (Lt) (m)	140	230	300	380	460

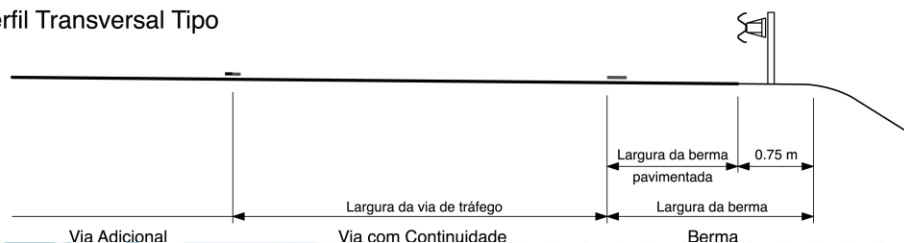
Planta



Perfil Longitudinal



Perfil Transversal Tipo



**Figura 11 - Vias adicionais em rampa**

### III.2.4.3 Vias adicionais em declive

Os declives com grande inclinação e extensão têm efeitos restritivos na capacidade de tráfego e na segurança, tanto maiores quanto maiores forem os volumes de tráfego.

Nesses casos, as velocidades dos veículos pesados podem baixar até 20 km/h, pelo que o efeito na capacidade é o mesmo de uma rampa. Conseqüentemente, também nestes casos se devem considerar vias para veículos lentos, ou seja, adoptar um perfil transversal com 2x2 vias.

Os declives podem ser mais perigosos do que as rampas devido a problemas com as travagens.



O risco de acidentes com veículos pesados nos declives depende de vários factores, como sejam: inclinação e extensão do trainel, tráfego médio diário e número de vias no sentido descendente. No entanto, a razão fundamental dos acidentes é a ineficiência dos travões, a qual é devida essencialmente ao seu sobreaquecimento. Os factores que contribuem directamente para esse efeito são: a temperatura dos travões no início do declive, o valor da inclinação, a extensão do trainel, o peso do veículo e a velocidade. A velocidade de segurança num declive para um veículo pesado é aquela que permite que o mesmo efectue uma travagem de emergência no fim do declive, sem que a temperatura dos travões exceda um valor crítico para a eficácia dos mesmos. Por outro lado a possibilidade de arrefecimento dos travões após um declive depende da distância ao declive seguinte e da temperatura ambiente.

De uma maneira empírica considera-se necessária a existência de duas vias nos declives com inclinação  $\geq 6\%$  e extensão  $\geq 1000$  m. Neste caso deve haver portanto faixas de rodagem unidireccionais (2x2 vias).

### III.2.4.3 Vias adicionais de ultrapassagem

A introdução de uma zona de ultrapassagem numa estrada de faixa única (1x2 vias) não decorre necessariamente de inclinações acentuadas. A largura da via adicional deve ser a mesma das vias de tráfego normais.

Os trechos de 2x2 vias introduzidos especificamente para melhorar a possibilidade de ultrapassagem devem ter separador munido de guardas de segurança, a fim de se evitar a colisão frontal entre os veículos que se despistam e os veículos que circulam em sentido contrário. Como descrito na secção III.4.7, os separadores centrais têm sempre guardas de segurança desde que a sua largura seja inferior a 20.0 m.

### III.2.5. ESCAPATÓRIAS PARA OS VEÍCULOS PESADOS NOS DECLIVES

Quando existem declives de grande inclinação e extensão ou com um desnível superior a 130 m para inclinações superiores a 3%, nomeadamente a montante de um ponto singular (nó, área de serviço, obra de arte especial, túnel, etc.), deve prever-se a construção de escapatórias [15], às quais se refere a Figura 12 [13].

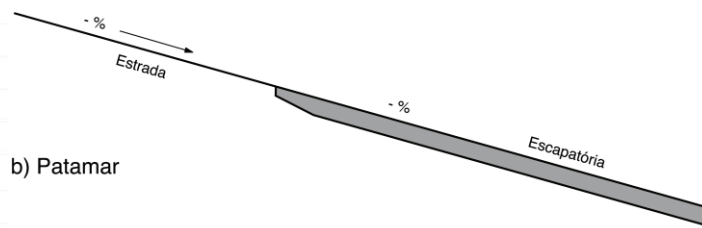
No caso de as escapatórias serem de nível ou descendentes a sua extensão tem de ser maior do que no caso de serem em rampa, em que a força da gravidade contribui para a paragem do veículo.

No Quadro XXI apresentam-se as inclinações dos trainéis equivalentes à resistência ao rolamento exibida por vários materiais susceptíveis de serem utilizados no leito de paragem das escapatórias [11].

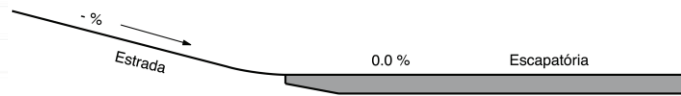
**Quadro XXI** - Trainéis equivalentes à resistência ao rolamento de vários materiais

Tipo de Material	Trainel equivalente (%)
Agregado britado	5
Seixo	10
Areia	15
Seixo fino	25

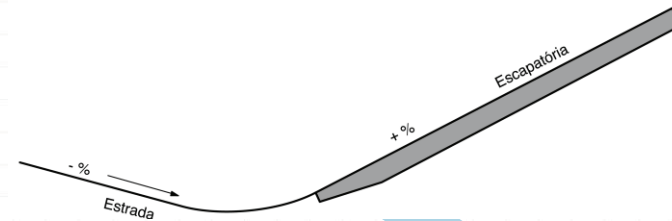
a) Declive



b) Patamar



c) Rampa



**Figura 12 - Escapatórias**

Recomenda-se que as escapatórias sejam projectadas para uma velocidade de entrada superior a 120 km/h.

Para garantia que o veículo pára e se mantém em repouso, uma escapatória deve respeitar as seguintes condições:

- ter a extensão necessária para dissipar a energia cinética do veículo descontrolado;
- o material utilizado no leito de paragem deve ser limpo, não facilmente compactável e com elevado coeficiente de resistência ao rolamento. Os agregados devem ser arredondados, de um único tamanho, e isentos de finos. A dimensão máxima do agregado deve ser da ordem dos 3 cm. Deve assegurar-se a drenagem das escapatórias a fim de evitar, nomeadamente, a formação de gelo;
- a espessura do leito de paragem deve ser no mínimo de 0.60 m. A fim de facilitar a desaceleração dos veículos descontrolados a espessura do agregado deve variar de 0.10 m até à espessura definitiva numa extensão de 30 m;
- em planta, a zona de absorção de energia cinética deve ser rectilínea.

Deve ainda existir uma via de serviço pavimentada, lateralmente à escapatória, a fim de permitir a circulação dos veículos de reboque e de conservação, cuja largura mínima deve ser de 3.0 m.

A extensão (EE) do leito de paragem pode ser determinada pela expressão [11]:

$$EE = V^2 / 254 (K \pm G)$$

em que:

- V velocidade de entrada (km/h);
- K coeficiente de resistência ao rolamento, expresso na inclinação do trainel equivalente (%/100);
- G inclinação do leito de paragem (% /100).

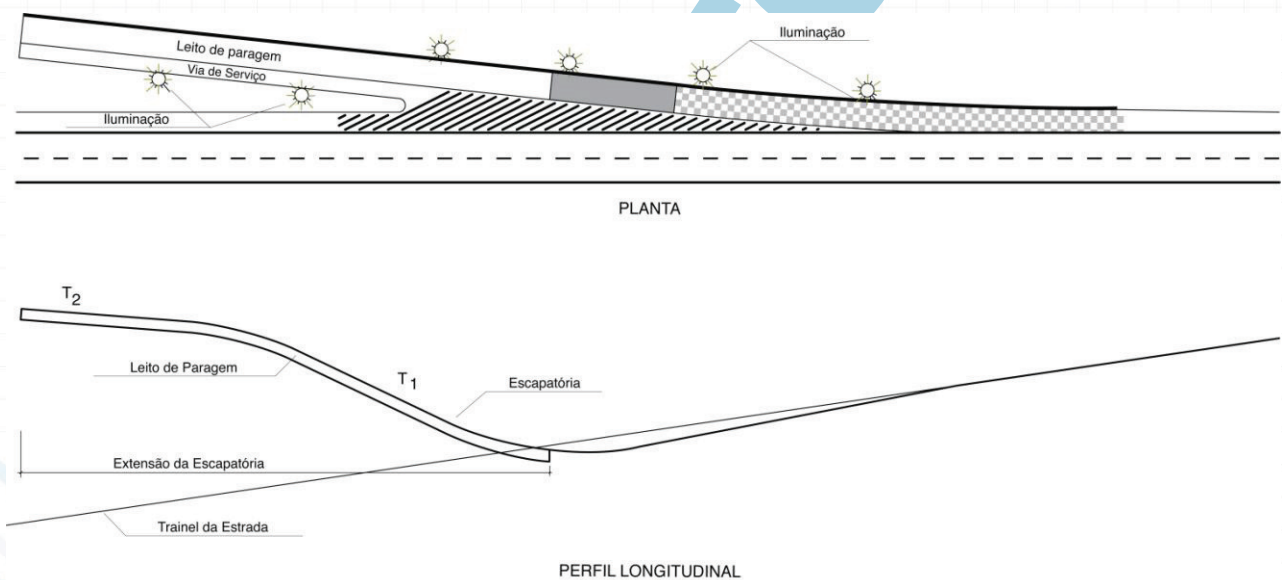
Devido aos condicionantes locais pode acontecer que o leito de paragem não tenha inclinação constante. Neste caso para determinar a sua extensão é necessário estimar a velocidade no fim de cada trainel, cuja expressão é [11]:

$$V_f^2 = V_i^2 - 254 E (K \pm G)$$

em que:

- $V_i$  velocidade inicial no trainel (km/h);
- $V_f$  velocidade final no trainel (km/h);
- E extensão do trainel (m).

Na Figura 13 representa-se esquematicamente o traçado típico de uma escapatória.



**Figura 13** - Traçado típico de uma escapatória

Depois de cada utilização, o agregado da escapatória deve ser regularizado. Periodicamente o material deve ser limpo e repostado no estado descompactado inicial, a fim de reter os veículos como previsto e facilitar a drenagem.

Quando não for possível assegurar a extensão necessária da escapatória esta deve ser completada na zona terminal com um monte constituído com o agregado utilizado. Estes montes devem ter uma altura compreendida entre 0.6 m e 1.5 m com taludes de 2/3 (h/b) [11].

As escapatórias localizam-se, normalmente, no fim dos declives. Nos declives muito extensos deve haver, em princípio, uma escapatória por quilómetro, desde que haja inclinações iguais ou superiores a 6%.



A localização óptima das escapatórias pode ser determinada em função do perfil da temperatura do sistema de travagem, ao longo do declive, de um veículo pesado padrão. Sempre que a temperatura ultrapasse 260° deve ser construída uma escapatória no local correspondente.

### III.2.6. ÁREAS DE VERIFICAÇÃO DE TRAVÕES

Na sequência de rampas de grande extensão e na proximidade do ponto de inversão da inclinação para declive, podem ser criadas áreas de verificação de travões de paragem obrigatória, exteriores à via principal, para obrigar os condutores a verificar o sistema de travagem dos veículos pesados.

Estas áreas têm a vantagem de forçar a paragem dos veículos pesados e, como tal, eliminar a possibilidade de velocidades excessivas no início da descida.

Nestas áreas é também possível dar informação sobre a extensão e inclinação da descida seguinte, bem como sobre a localização das escapatórias ao longo da mesma, através de painéis informativos ou de outros meios.

Nestas áreas deve ser proibida a entrada de outro tipo de veículos para além dos automóveis pesados de mercadorias e de passageiros, através de sinalização adequada.

### III.3 - COORDENAÇÃO DO TRAÇADO EM PLANTA E EM PERFIL LONGITUDINAL

O aspecto da estrada percebido pelos utentes deve ser considerado como um elemento fundamental na definição das características geométricas do traçado.

A estrada, que é vista em perspectiva, deve permitir ao utente:

- i) Ver o pavimento (as marcas rodoviárias –  $h_2 = 0$ ) e os eventuais obstáculos, a uma distância tal que permita efectuar as manobras necessárias, para os evitar, incluindo a paragem em segurança do veículo.
- ii) Distinguir claramente as zonas singulares (intersecções de nível, nós de ligação, etc.).
- iii) Compreender facilmente o desenvolvimento do traçado, sem lugar a dúvidas devidas a erros de perspectiva, quebras ou descontinuidades.

A localização de zonas singulares da estrada (intersecções de nível, nós de ligação, praças de portagem, áreas de serviço, mudanças de perfil transversal, etc.) não se deve verificar em concordâncias convexas, curvas de pequeno raio ou zonas de descontinuidade em perspectiva.

O conforto óptico assegura uma condução agradável e segura. Consequentemente, deve evitar-se tudo aquilo que esteticamente possa ser desagradável para os utentes.

Um traçado pode respeitar integralmente as normas em planta e perfil e, no entanto, a estrada, uma vez construída, apresentar-se desconfortável ou não assegurar níveis adequados de segurança e comodidade de circulação.

Na fase prévia de escolha da localização do traçado, assim como na fase de projecto, deve sempre tentar-se visualizar a estrada uma vez concluída e avaliar as consequências das possíveis combinações de traçado em planta e perfil.



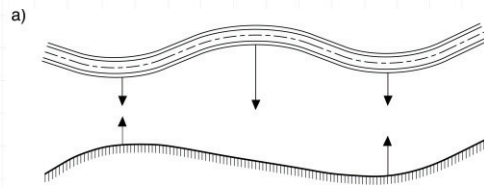
A fim de se obter uma boa coordenação entre os traçados em planta e perfil longitudinal, devem respeitar-se os seguintes princípios ao elaborar o projecto:

- o traçado, em planta e perfil longitudinal, deve integrar-se no meio ambiente;
- a sobreposição das curvas em planta e perfil longitudinal melhora 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 dupla faixa de rodagem, sempre que o eventual aumento do custo de construção seja economicamente aceitável;
- devem ser asseguradas oportunidades de efectuar ultrapassagens com segurança, nas estradas de faixa única, com dois sentidos. Esta necessidade pode, no entanto, condicionar a adopção das melhores combinações do traçado em planta e perfil.

Em muitos casos estes princípios podem ser respeitados com um aumento aceitável de custo. Quando se considerar que estes custos são excessivos deve proceder-se a uma análise custo benefício.

Os traçados em planta e perfil longitudinal são elementos permanentes de uma estrada, pelo que, se não houver uma boa coordenação no projecto, uma vez construída a estrada, o seu aspecto desagradável será visto e sentido pelos utentes durante toda a vida da obra. Com efeito, um bom traçado óptico resulta da escolha harmoniosa dos elementos geométricos e da sua correlação, que deve ser tal que as características do traçado sejam facilmente perceptíveis e não variem bruscamente.

Na Figura 14 até à Figura 17 apresenta-se uma série de casos típicos de desconforto óptico por má coordenação entre a planta e o perfil longitudinal, que provocam confusão aos utentes, e a solução correctiva mais conveniente em cada caso [16].



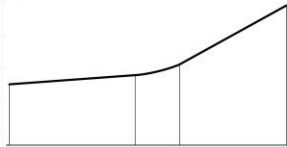
Boa concordância em planta e perfil

b)



Mau traçado em planta (raio diminuto)

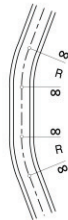
c)



Mau traçado em perfil (concordância diminuta)

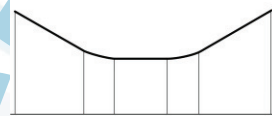
**Figura 14 - Coordenação do traçado em planta e perfil longitudinal - 1**

a)



Mau traçado (pequeno alinhamento entre duas curvas com o mesmo sentido)

b)



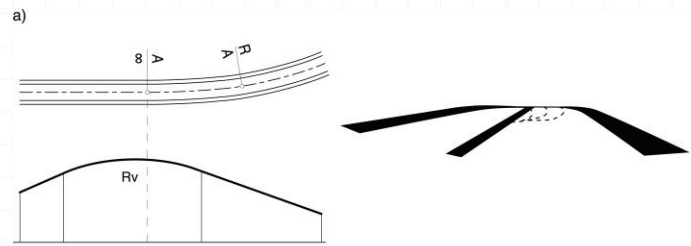
Mau traçado em perfil (pequeno trainel entre duas concordâncias côncavas)

c)

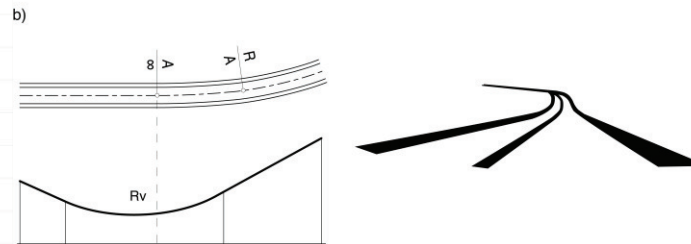


Mau traçado em perfil (perda do traçado)

**Figura 15 - Coordenação do traçado em planta e perfil longitudinal - 2**



Início da curva após concordância convexa, o que impede de ver a mudança de direção em planta.



Início da curva circular após uma concordância côncava, provocando uma quebra de traçado ( $R_v$  deve ser maior ou igual que  $6R_h$ )

**Figura 16 - Coordenação do traçado em planta e perfil longitudinal - 3**



Curva circular de grande raio e côncava de pequeno raio provocando quebra do traçado em planta ( $R_v$  deve ser o maior possível)



Concordância côncava após uma curva circular provocando quebra de traçado e estreitamento óptico da estrada. O traçado em planta e perfil deve coincidir.



Concordância côncava entre duas curvas circulares provocando quebra e estreitamento óptico da estrada. A concordância deverá coincidir com uma das curvas circulares.

**Figura 17 - Coordenação do traçado em planta e perfil longitudinal - 4**

## III.4 - PERFIL TRANSVERSAL

### III.4.1. GENERALIDADES

A segurança, a capacidade e a economia são razões determinantes na selecção das componentes dos perfis transversais das estradas. Na configuração do perfil transversal deve ter-se em conta também a protecção da natureza e dos terrenos circundantes. A segregação entre veículos motorizados, bicicletas e peões é imprescindível do ponto de vista da segurança rodoviária quando a velocidade de circulação dos veículos motorizados é superior a 30 km/h.

Como principais elementos do perfil transversal das estradas há a considerar: a faixa de rodagem; as bermas; o separador, nas estradas de dupla faixa de rodagem; as valetas e os taludes.

Uma importante característica do perfil transversal é a largura das vias de tráfego. Esta largura é definida, para cada categoria de estrada, de acordo com a largura dos veículos e a *zona livre*. Nas estradas rurais a largura desejável da zona livre depende dos volumes de tráfego, das velocidades e da geometria da *área adjacente à faixa de rodagem* [17].

### III.4.2 FAIXA DE RODAGEM

#### III.4.2.1. Largura das vias

Em termos da geometria do traçado, considera-se que a largura da faixa de rodagem é composta pela soma da largura das vias.

Nas estradas nacionais com duas vias estas devem ter a largura mínima de 3.5 metros (3.0 m no caso indicado no Quadro XXIV), mesmo para volumes de tráfego moderados. No entanto, a fim de se assegurar o necessário afastamento entre os veículos pesados devem adoptar-se vias com 3.75 metros nas estradas com 2 vias, classificadas como IP e IC e com características de *via expresso*. Nas outras estradas nacionais podem adoptar-se vias com a largura de 3.0 m, desde que a *velocidade base* seja inferior a 80 km/h e o volume horário do projecto inferior a 300 veículos.

Nas estradas com dupla faixa de rodagem a largura das vias deve ser:

3.75 m, para  $VB \geq 100$  km/h

3.50 m, para  $VB < 100$  km/h

A largura das vias adicionais (em rampa, declive ou de ultrapassagem) deve ser igual à da via de tráfego normal adjacente

No Quadro XXIV são indicadas a larguras das vias, em função da *velocidade base* (VB) e do tipo de estrada.

#### III.4.2.2. Sobrelargura nas curvas

Os veículos ao descreverem uma curva ocupam uma maior largura de faixa de rodagem do que quando circulam numa recta. Este aumento da largura ocupada depende basicamente do raio da curva e do comprimento e distância entre eixos do veículo. Embora este aumento de largura seja desprezável para veículos ligeiros, é significativo para os veículos pesados especialmente se articulados ou com reboques, pelo que deve ser considerado.



A sobrelargura total (SL, em m), para estradas com duas vias, pode ser calculada pela expressão empírica:

$$SL = 80 / R$$

em que o R é o raio da curva, em m.

A sobrelargura é normalmente introduzida no intradorso da curva, sendo o seu desenvolvimento efectuado ao longo das curvas de transição.

Não é de considerar sobrelargura nas curvas com raio superior a 200 m.

#### III.4.2.3. Inclinação transversal

Nos alinhamentos rectos a inclinação transversal é normalmente utilizada para garantir a drenagem superficial da estrada, uma vez que é esta a direcção de escoamento que assegura o menor comprimento de drenagem.

Nas estradas com duas vias o pavimento é normalmente inclinado para ambos os lados a partir do eixo (perfil em “V” invertido). Essa inclinação deve ser de 2.5% nos pavimentos betuminosos e de 2.0 % nos pavimentos de betão de cimento.

Nas estradas com faixas de rodagem unidireccionais o pavimento de cada faixa de rodagem é, em princípio, inclinado para o exterior.

Quando a largura do separador for igual ou superior a 11.5 m, podem inclinar-se as faixas de rodagem quer para o exterior quer para o separador. No caso de a estrada ter 2x3 vias é conveniente inclinar duas vias para o exterior e uma para o separador.

#### III.4.2.4. Sobrelevação

A sobrelevação das curvas contribui decisivamente para a segurança e comodidade da circulação, pois permite que parte da força centrífuga seja compensada pela força da gravidade, favorece a percepção das curvas, e consequentemente a orientação óptica.

Tem sido demonstrado que em muitas curvas a sobrelevação é inferior ao desejável. Isto acontece porque a sobrelevação é definida normalmente em função da *velocidade base*, enquanto os condutores percorrem as curvas à velocidade que julgam compatível com as mesmas, a qual geralmente é superior à *velocidade base*.

Julga-se portanto de concluir que a sobrelevação deve ser independente da *velocidade base*, e definida de acordo com a *velocidade não impedida* compatível com o raio de cada curva.

Consequentemente, o valor da sobrelevação, em função do raio da curva, deve ser o indicado no Quadro XXII. Para os raios com valor intermédio adopta-se a sobrelevação mais elevada.

A linha de maior inclinação no pavimento, a qual é a resultante da combinação da inclinação do trainel com a da sobrelevação, não deve ultrapassar 10%. No caso de esse valor ser superior, não se deve diminuir o valor da sobrelevação indicada no Quadro XXII, mas diminuir a inclinação do trainel, ou eventualmente modificar o traçado em planta.

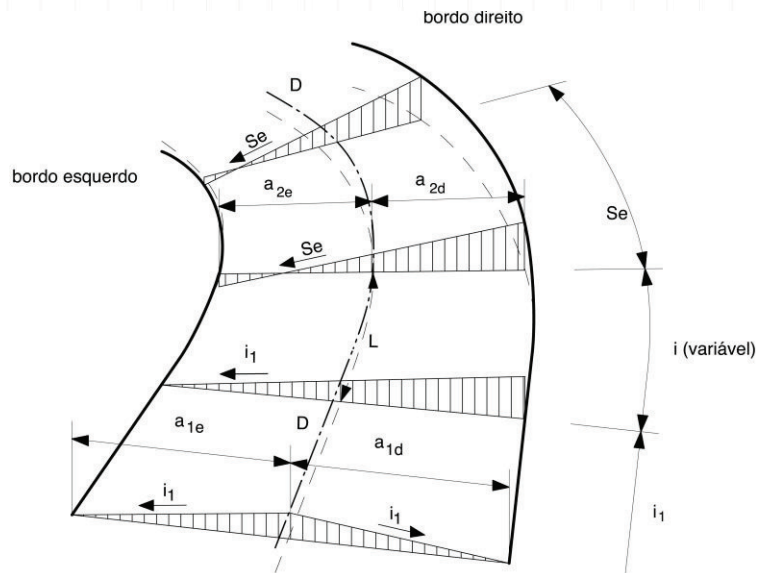
**Quadro XXII - Sobrelevação em curva**

Estradas de faixa única, com dois sentidos		Estradas com dupla faixa de rodagem	
Raio (m)	Sobrelevação (%)	Raio (m)	Sobrelevação (%)
<525	7.0	<1100	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	-

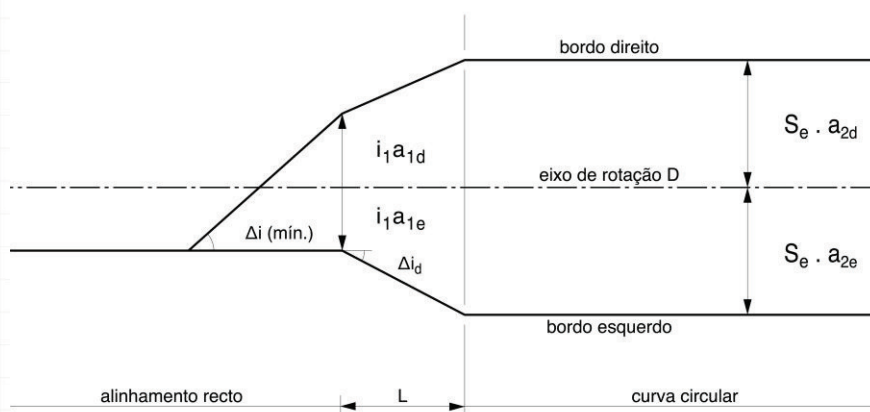
Em princípio, todas as vias de circulação adicionais, bem como as bermas pavimentadas, devem ter a mesma sobrelevação que as vias principais. Esta regra é válida também para as vias de desaceleração, de aceleração e de entrecruzamento.

#### **III.4.2.5. Transição da sobrelevação**

A transição da sobrelevação é efectuada ao longo da curva de transição, como referido em III.1.4.1 (Condição b), e exemplificado na Figura 18.



Representação Esquemática



Inclinação relativa dos bordos da faixa de rodagem

**Figura 18** - Transição da sobrelevação (rotação em torno do eixo)

A escolha do eixo de rotação depende do tipo de inclinação transversal em alinhamento recto, do valor da sobrelevação e das condições locais. A posição do eixo de rotação influencia o valor da obliquidade da transição da sobrelevação ( $\Delta i$ ). Esta escolha influencia também a inclinação transversal do separador nas estradas com dupla faixa de rodagem, e conseqüentemente a escolha do tipo de guardas de segurança.

Na Figura 19 referem-se as diferentes possibilidades de escolha do eixo de rotação. O método de rotação sobre a linha axial é normalmente o mais adaptável. Por outro lado o método de rotação sobre o limite de intradorso da faixa de rodagem é preferível quando a condicionante que prevalece é a geometria dessa linha, como é o caso da drenagem longitudinal.

Não pode ser feita nenhuma recomendação geral relativamente à adopção de um eixo de rotação, atendendo às inúmeras possibilidades de rotação da faixa de rodagem e face a problemas específicos, tais como a drenagem, a eliminação de inclinações críticas, aspectos relacionados com os factores humanos (uma visão desobstruída sobre os limites interior e exterior da curva garante um adequado enquadramento óptico [18]) e a adaptação da estrada ao terreno [11].

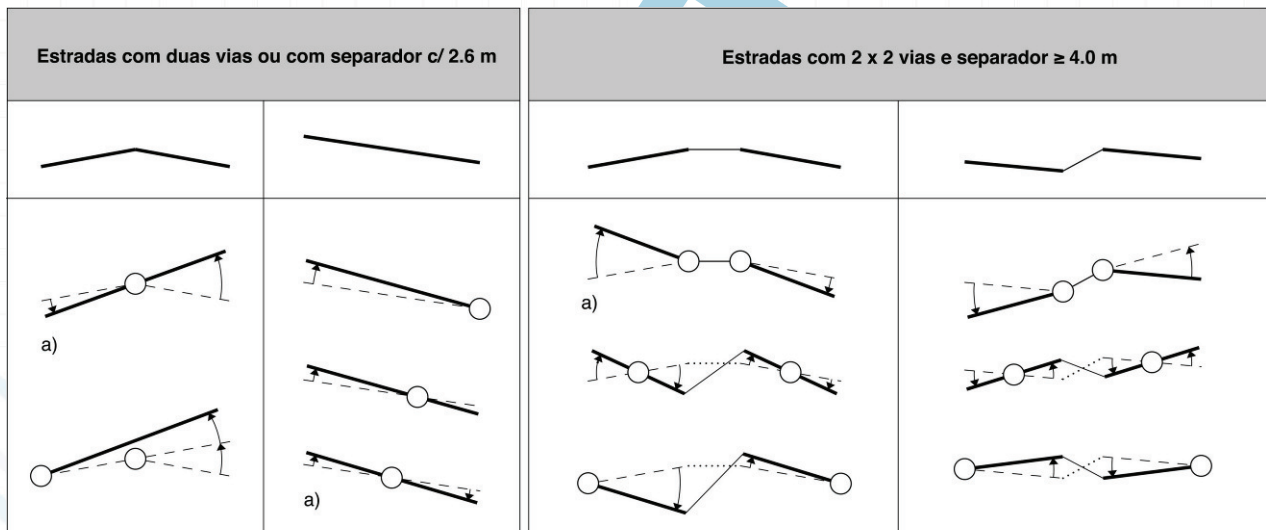
Para obter os resultados mais adequados, cada transição de sobrelevação deve ser considerada individualmente. Na prática, qualquer linha de referência do pavimento utilizada para o eixo de rotação pode ser mais adequada para a situação em causa.

Actualmente, preconiza-se a rotação em torno do eixo da faixa de rodagem, nas estradas com 2 vias (ver Figura 19).

Nas estradas com faixas de rodagem unidireccionais preconiza-se que a rotação seja efectuada em torno do bordo esquerdo de cada uma das faixas de rodagem.

A transição da sobrelevação deve ser estudada cuidadosamente pois é particularmente importante para:

- assegurar uma boa drenagem lateral e longitudinal (valeta de intradorso);
- permitir a variação cómoda da aceleração transversal não compensada pela sobrelevação;
- disponibilizar um enquadramento óptico adequado.



a) Solução desejável

**Figura 19** - Eixo de rotação da sobrelevação

O elemento fundamental da transição da sobrelevação é a inclinação longitudinal do bordo exterior da faixa de rodagem em relação do eixo, ou seja a obliquidade da transição da sobrelevação ( $\Delta i$ ). O seu valor mínimo, nas zonas de transição da sobrelevação em que a inclinação transversal da estrada ( $i_1$ ) é menor do que 2.5 %, é dado pela expressão:

$$\Delta i \text{ mín (\%)} = 0.1 \times a$$

em que  $a$  é a distância do eixo de rotação ao bordo da faixa de rodagem.

No entanto, por razões ópticas e dinâmicas é também fixado um valor máximo para  $\Delta i$ , o qual depende da velocidade do tráfego (Quadro XXIII).

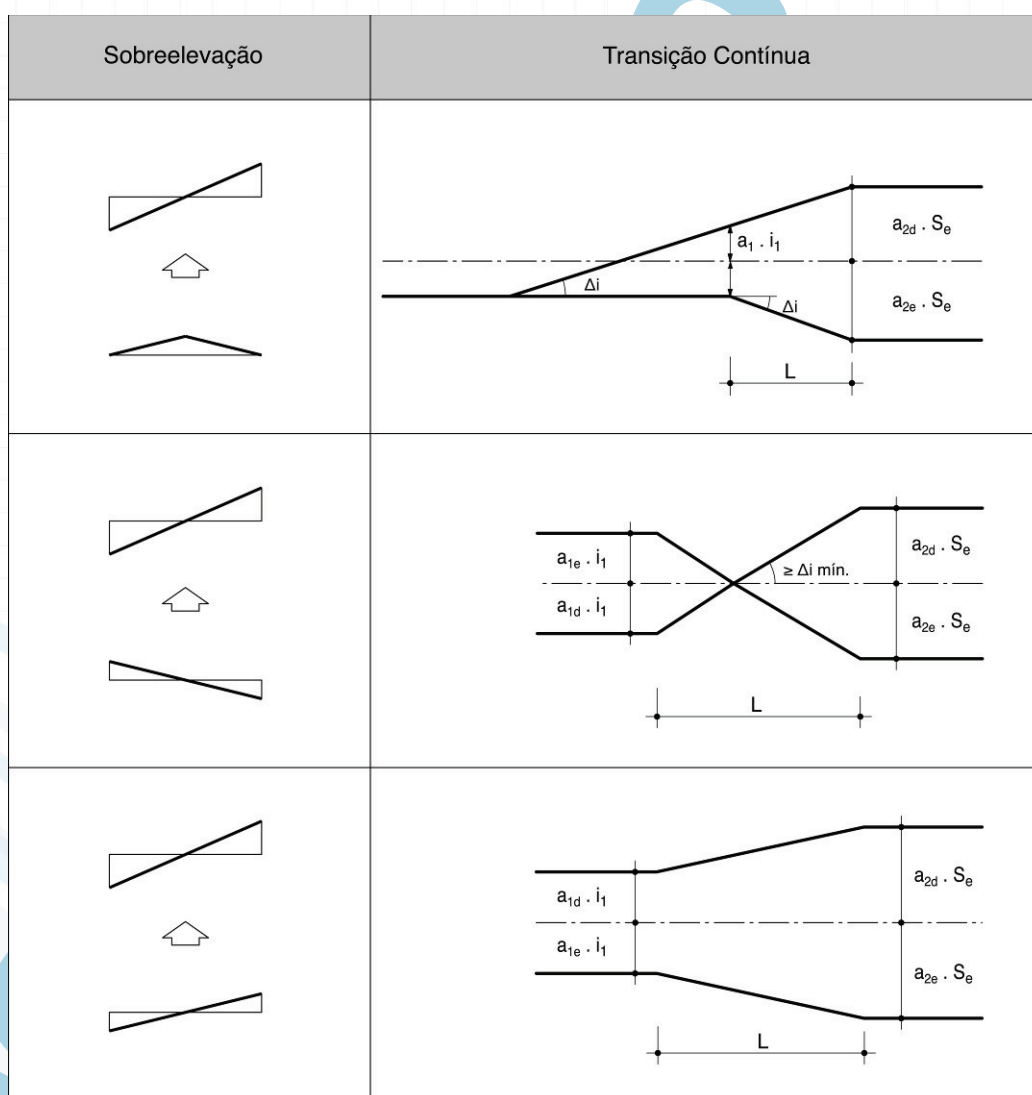


**Quadro XXIII - Obliquidade máxima da transição da sobrelevação**

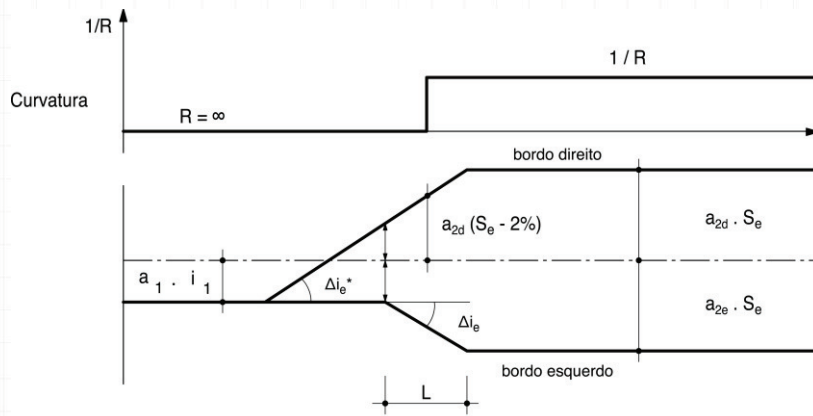
Velocidade do Tráfego (km/h)	< 40	$40 \leq VT \leq 80$	> 80
$\Delta i$ máx. (%)	1.5	1.0	0.8

Quando os valores mínimo e máximo de  $\Delta i$  são contraditórios, o valor a adoptar é  $\Delta i_{\min}$ , uma vez que deve prevalecer o critério mais relacionado com a segurança (garantia de drenagem).

Na Figura 20 referem-se os principais casos de transição da sobrelevação. Quando não há curva de transição ou quando ela tem um desenvolvimento inferior ao mínimo necessário para a transição da sobrelevação, esta deve ser efectuada de tal maneira que o valor da sobrelevação no início da curva circular, seja inferior em 2% ao valor da sobrelevação correspondente ao raio dessa curva – Figura 21.



**Figura 20 - Transição da sobrelevação com curva de transição**



\* Normalmente =  $\Delta i$  máximo

**Figura 21** - Transição da sobrelevação sem curva de transição

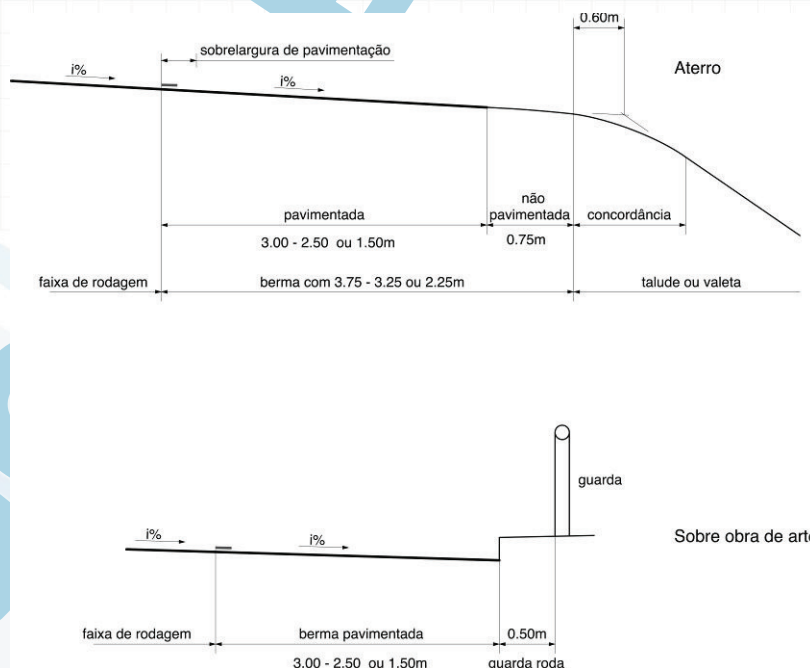
### III.4.3. BERMAS

As bermas são um refúgio para os veículos avariados, permitem a circulação dos veículos de socorro, e asseguram o suporte lateral do pavimento da faixa de rodagem. As bermas podem ainda evitar um acidente iminente ou reduzir a sua gravidade. Além disso, aumentam a capacidade de tráfego da estrada. No entanto, para a segurança da circulação é indispensável que haja uma distinção nítida entre a faixa de rodagem e as bermas, a fim de se evitar que estas sejam utilizadas pela circulação dos veículos.

Consequentemente, as bermas devem preferencialmente ter uma cor e textura contrastantes com as da faixa de rodagem.

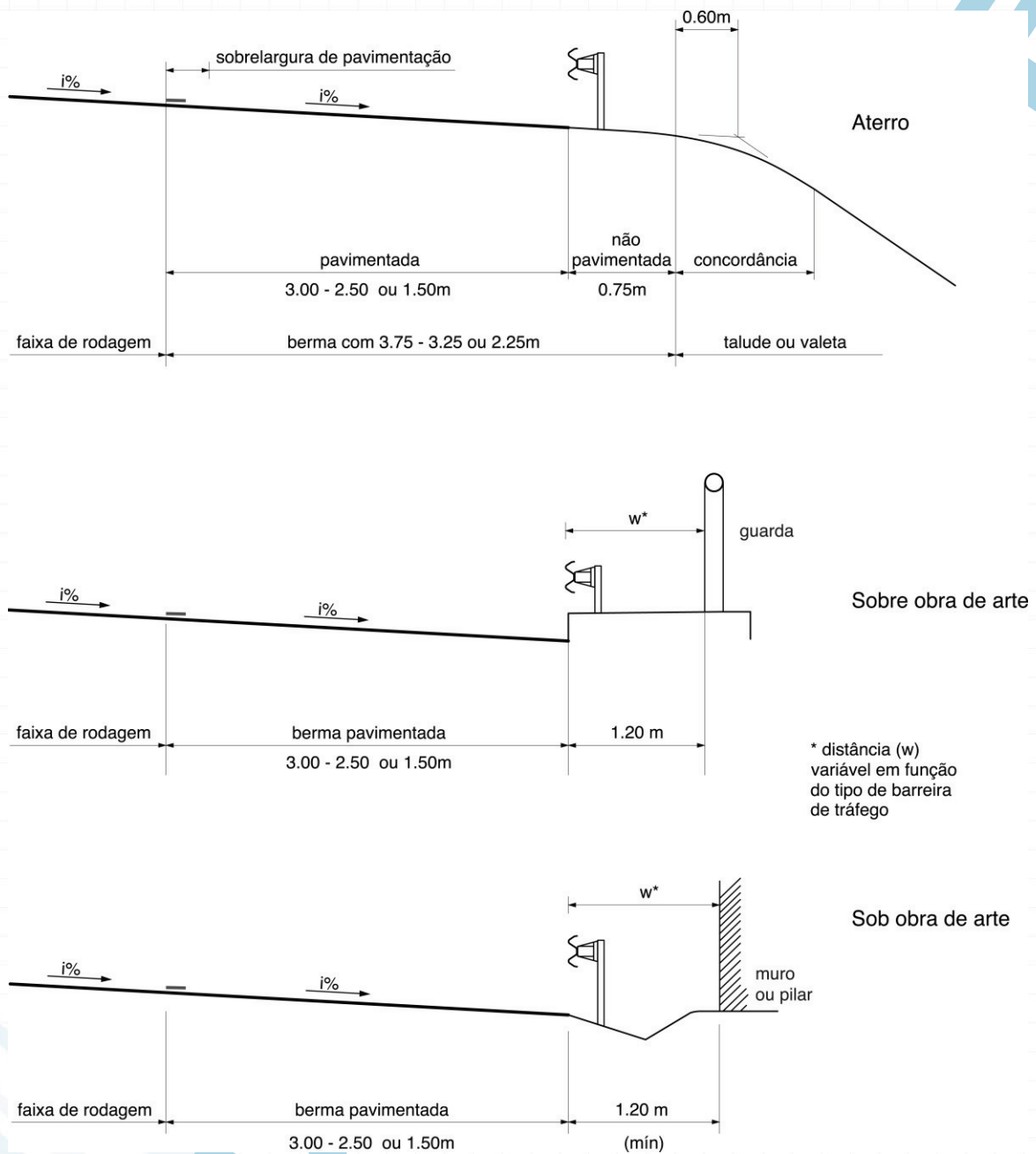
Além da berma pavimentada há a considerar uma zona não pavimentada exterior a esta (0.75 m) e a ligação entre a berma e o talude ou a valeta (0.60 m).

Na Figura 22 refere-se a configuração normal da berma e da concordância com o talude.



**Figura 22** - Perfis transversais tipo – Berma e concordância com o talude

Na Figura 23 refere-se a configuração normal da berma com guardas de segurança.



**Figura 23** - Perfis transversais tipo – Bermas com guardas de segurança

A largura das bermas pavimentadas deve ser a referida no Quadro XXIV. A inclinação transversal em alinhamento recto é a da faixa de rodagem. Nas curvas com sobrelevação a inclinação transversal da berma é a mesma da faixa de rodagem.

A berma de uma estrada deve ter largura constante, mesmo quando a faixa de rodagem inclui vias adicionais, para veículos lentos ou para ultrapassagem.

Quadro XXIV - Largura das bermas pavimentadas

Tipo de Estrada		Velocidade base (km/h)	Largura das Vias (m)	Bermas pavimentadas	
				Esquerda (m)	Direita (m)
Dupla faixa de rodagem		≥100	3.75	1.0	3.0
		<100	3.50	1.0	3.0
Faixa única	Via expresso	≥80	3.75	2.5	
	EN	≥80	3.5	2.5 (a)	
	ER	<80	3.0 (b)	1.5	

(a) Para volumes horários de projecto < 200 veículos é de 1.5 m

(b) Para volumes horários de projecto < 300 veículos. Senão é de 3.5 m.

#### III.4.4. VALETAS

As valetas destinam-se a colectar e a conduzir as águas superficiais para fora da estrada devendo por isso ser convenientemente dimensionadas para os caudais a escoar.

De uma maneira geral as valetas devem ser triangulares, situando-se o seu fundo, pelo menos, 0.30 m abaixo do nível do leito do pavimento.

O seu pano do lado interior deve ter a inclinação (h/b) máxima de 1/4. O pano exterior pode ter a inclinação do talude de escavação.

Por razões de escoamento pode tornar-se necessário o revestimento do seu fundo.

Caso seja necessário projectarem-se **valetas reduzidas**, estas devem ter uma largura mínima de 1.2 m, descendo o seu fundo, no mínimo, a 0.20 m abaixo do nível inferior da berma – Figura 23.

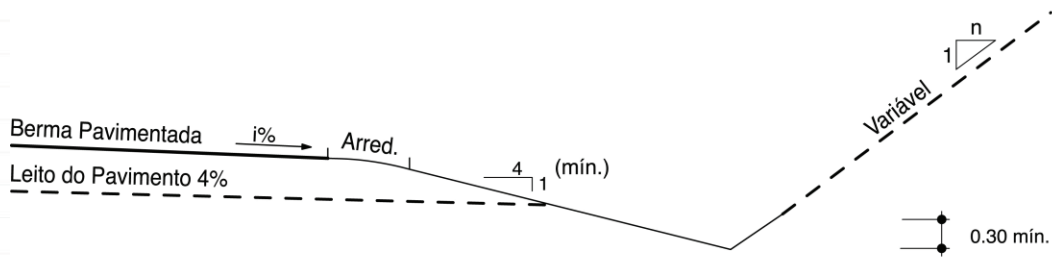
As inclinações (h/b) dos panos interiores e exteriores são sempre iguais ou inferiores a 1/4 e a 1/2, respectivamente.

Estas são sempre revestidas com betonilha e associadas a drenos, quer profundos quer de respiração.

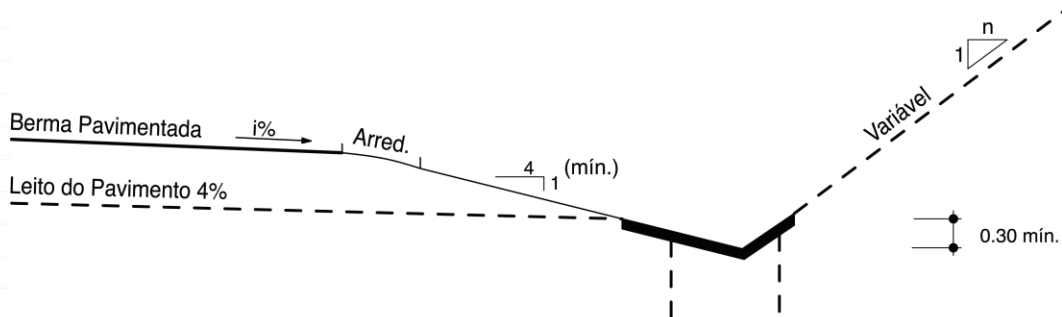
A fim de facilitar a drenagem, as valetas podem ser complementadas com colectores.



### Valeta Normal Não Revestida



### Valeta Normal De Fundo Revestido (com ou sem dreno)



### Valeta Reduzida (sempre associada a dreno)

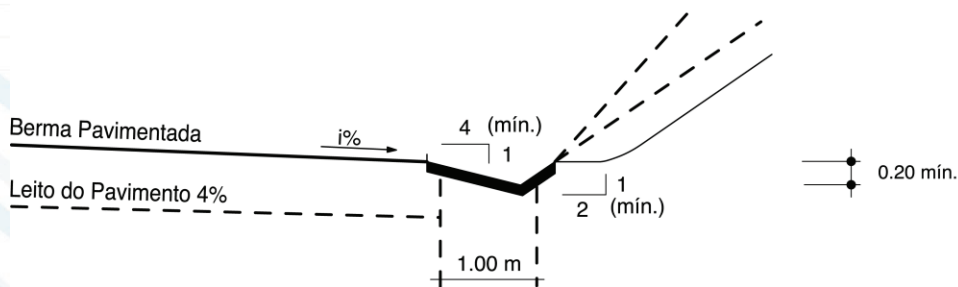


Figura 24 - Perfis transversais tipo – Valetas

#### III.4.5. SEPARADORES CENTRAIS

O separador não inclui as bermas pavimentadas, pelo que a sua largura só inclui a zona lateral à berma (0.75 m) e a ligação entre a berma e o talude ou a valeta (0.60 m).

No Quadro XXV indicam-se as larguras mínimas, valores normais e absolutos, que devem ter os separadores centrais, atendendo à *velocidade base*. Nessas larguras não estão incluídas as bermas esquerdas pavimentadas, com 1.0 m de largura.

**Quadro XXV** - Largura mínima dos separadores

	Velocidade base (km/h)	Largura do Separador (m)	
		Mínimo absoluto	Mínimo normal
Com guardas	140 e 120	4	4
	100	3	4
	80	2	3
	60	0.6	2
Sem guardas	140 e 120	11.5	20

Nos casos particulares em que se adoptem as larguras mínimas absolutas é necessário efectuar a sua justificação económica.

Nas áreas metropolitanas pode mesmo adoptar-se o valor mínimo de 2.0 m para *velocidades base* superiores a 60 km/h.

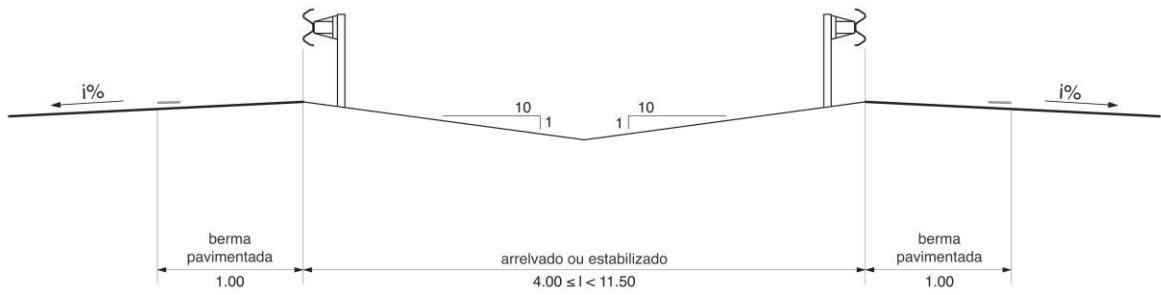
Sempre que o aumento do custo de construção e de conservação seja aceitável, a largura do separador deve ser superior ou igual a 11.5 m, o que permite alargar facilmente a estrada de 2x2 vias para 2x3 vias.

No caso de se adoptarem as larguras mínimas indicadas no Quadro XXV será sempre de considerar-se a colocação de guardas de segurança, cuja distância ao bordo da faixa de rodagem é sempre de 1.0 m.

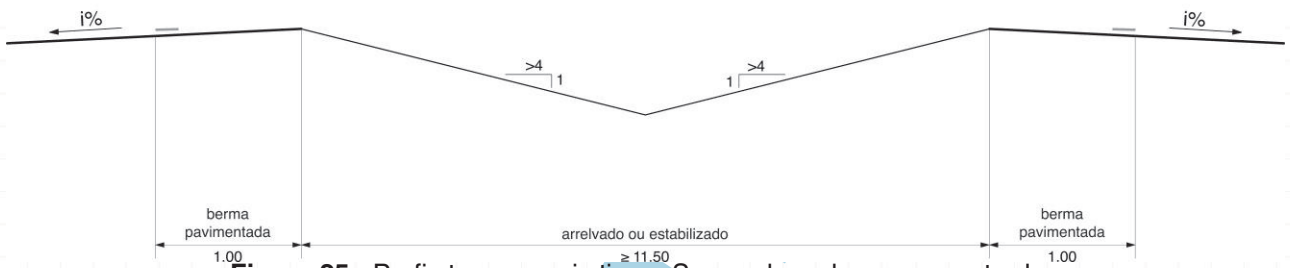
Sempre que o separador tenha uma largura igual ou superior a 6.0 m a sua parte central deve ter cobertura arbustiva, a fim de melhorar o conforto óptico na condução nocturna. Neste caso o perfil transversal da parte central do separador deve ser em forma de V, com inclinação de 10% para larguras do separador inferiores a 11.5 m, e inclinação de  $h/b = 1/4$  para larguras do separador iguais ou superiores a 11.5 m.

Nas figuras 25 a 27 exemplifica-se a configuração normal dos separadores.

Separador com 4.0 m ( $v > 80$  Km/h)

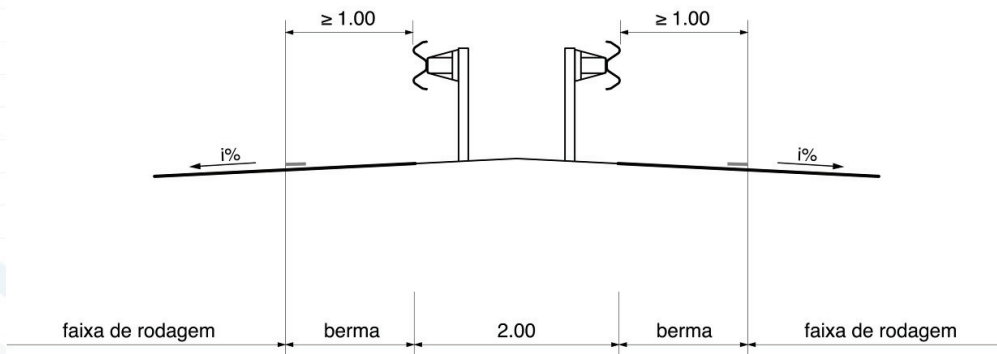


Separador  $\geq 11.50$ m ( $v > 120$  km/h)

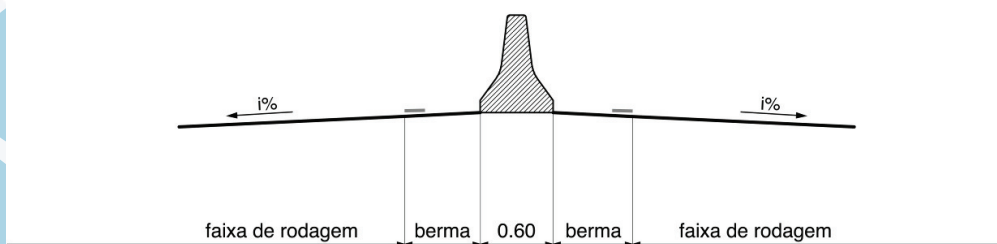


**Figura 25 - Perfis transversais tipo – Separadores largos em estrada**

Separador com 2,00 m ( $v < 80$  Km/h)

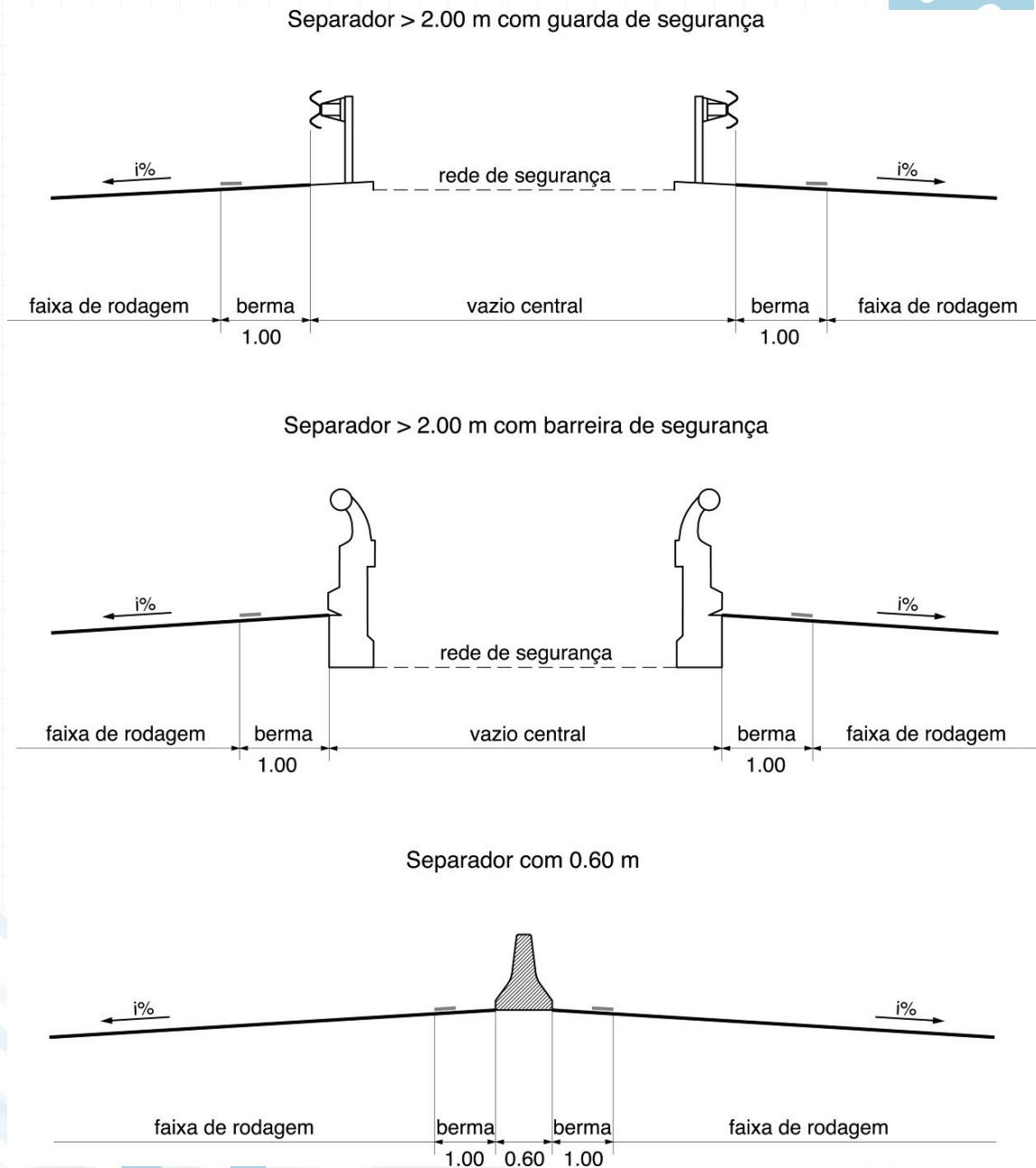


Separador com 0.60 m ( $v \leq 60$  Km/h)



**Figura 26 - Perfis transversais tipo – Separadores estreitos em estrada**

No caso de obras de arte individualizadas para cada faixa de rodagem (ver Figura 27), deve ser previsto o fecho das aberturas com rede com capacidade resistente e malha adequadas à função de limitar o perigo de queda de pessoas e objectos (a qual é designada na figura como “rede de segurança”).



**Figura 27** - Perfis transversais tipo – Separadores em Obras de Arte



### **III.4.6. TALUDES**

#### **III.4.6.1. Terreno ondulado**

A inclinação dos taludes deve ser definida tendo em consideração:

- a segurança dos utentes, designadamente em caso de despiste;
- as características geotécnicas do terreno;
- a adaptação da estrada à paisagem;
- a protecção contra desmoronamentos.

A concordância dos taludes de aterro com o terreno natural deve ter a forma côncava. As tangentes dessa concavidade devem ter 3.0 m, para os taludes com a altura superior a 2.0 m. Quando a altura for inferior a 2.0 m as tangentes podem ter 1.5 m.

No intradorso das curvas em escavação a concordância côncava do talude com a valeta deve garantir a distância de visibilidade de paragem.

A necessidade de banquetas e, em caso afirmativo, a sua largura e espaçamento devem ser definidos com base no estudo geotécnico. Considera-se porém preferível diminuir a inclinação dos taludes, pelo que o recurso a banquetas deve ser excepcional. Normalmente só deve recorrer-se a banquetas quando se pretenda instalar drenos horizontais, controlar a erosão superficial ou impedir a queda de rochas. A banqueta deve ter a largura de 3.0 m e uma inclinação transversal de 8% (para o exterior da zona da estrada).

#### **III.4.6.2. Terreno acidentado ou muito acidentado**

No caso da estrada se localizar em terreno acidentado ou muito acidentado, os taludes devem ser objecto de cuidados especiais, recomendando-se o seguinte:

- adoptar, de preferência, um traçado em escavação respeitando a direcção das diáclases;
- construir viadutos;
- construir túneis de pequena extensão nos esporões rochosos;
- reduzir ao mínimo possível a altura dos taludes de escavação e aterro, a fim de não se perturbar o equilíbrio da encosta;
- construir os muros de suporte de preferência nas escavações e não nos aterros;
- efectuar uma drenagem, superficial e profunda, extremamente cuidada.

### **III.4.7. GUARDAS DE SEGURANÇA**

A decisão de instalar guardas de segurança deve ser tomada como último recurso, unicamente para tratamento dos problemas de insegurança rodoviária originados por um obstáculo perigoso que não puderam ser resolvidos adoptando as seguintes medidas, por ordem de preferência:

1. a sua remoção;
2. o seu reposicionamento;
3. a redução da intensidade de um possível impacto, através da utilização de suportes frágeis ou tomando o obstáculo atravessável.

A instalação de um dispositivo de retenção adequado destina-se, assim, à protecção do tráfego e não à salvaguarda do obstáculo perigoso.

São diversos os tipos de obstáculos perigosos para um veículo descontrolado: árvores, taludes críticos (com inclinação igual ou superior a 1:3 – h/b), postes de sinais verticais e de iluminação sem suportes frágeis, dispositivos de drenagem, vedações, zonas com água e dispositivos de retenção.

As guardas de segurança são colocadas exteriormente às bermas pavimentadas, para evitar que veículos descontrolados colidam com obstáculos perigosos situados a menos de 12 m da faixa de rodagem em auto-estradas e de 4.5 m a 9.0 m em estradas de faixa de rodagem única.

As guardas de segurança podem ser flexíveis e semi-rígidas ou rígidas. Enquanto as flexíveis ou semi-rígidas têm como finalidade absorver a energia cinética dos veículos e redireccioná-los paralelamente ao eixo da estrada, as rígidas destinam-se quase exclusivamente a redireccionar os veículos, já que não dissipam quantidades significativas de energia por deformação da guarda.

A distância mínima das guardas de segurança ao limite da faixa de rodagem deve ser de 1.00 m, e o espaço livre atrás da mesma, para permitir a sua deformação, é definido com base nas recomendações do respectivo documento de homologação.

Devem ser colocadas no separador das estradas com dupla faixa de rodagem a fim de se evitar a colisão frontal entre os veículos que se despistam e os veículos que circulam em sentido contrário. Os separadores centrais têm sempre guardas de segurança desde que a sua largura seja inferior a 20.0 m.

Quanto às bermas direitas, em geral usam-se guardas de segurança desde que a inclinação dos taludes seja superior a 1/4 e altura superior a 3.0 m.

Devem também prever-se guardas de segurança quando as consequências de eventuais despistes possam ser particularmente graves devido à proximidade de instalações sensíveis, de habitações ou de equipamentos públicos e sempre que haja curso de água, via-férrea ou estrada, situadas a menos de 10.0 m do pé talude.

O diagrama da Figura 28 permite determinar a necessidade das guardas de segurança, tendo em consideração não só a inclinação do talude e a altura do aterro mas também as características do traçado e as condições climáticas.

Utilizado este diagrama, devem ser previstas guardas de segurança nos taludes de aterro desde que:

$$TMD \leq 2000 \quad \text{e} \quad IS \geq 70$$

$$TMD > 2000 \quad \text{e} \quad IS \geq 50$$

sendo IS (índice de segurança) determinado pelo diagrama da Figura 28.

No caso de haver um muro de suporte ou água na base do talude de aterro, para utilização do diagrama deve considerar-se que o terreno tem uma inclinação de 10%. Atribui-se à altura do aterro o valor de 5h no caso de muro de suporte, sendo h a altura do muro do suporte e o valor 8h no caso de haver água na base do talude, sendo, neste caso, h a diferença de cotas entre as superfícies da estrada e do espelho de água.



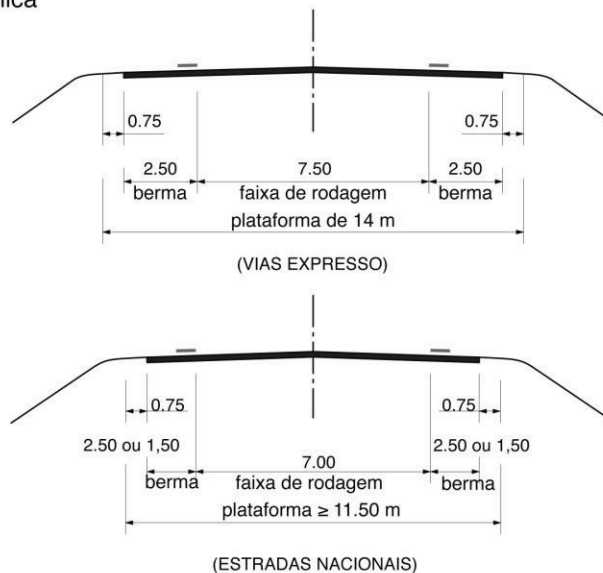


### III.5 - PERFIS TRANSVERSAIS TIPO

#### III.5.1. PERFIS EM ALINHAMENTO RECTO E EM CURVA

Uma vez definidos os elementos constituintes do perfil transversal é possível estabelecer os perfis transversais tipo para diferentes tipos de estradas, aos quais se refere a Figura 29.

##### a) Estradas de faixa única



##### b) Estradas com dupla faixa de rodagem

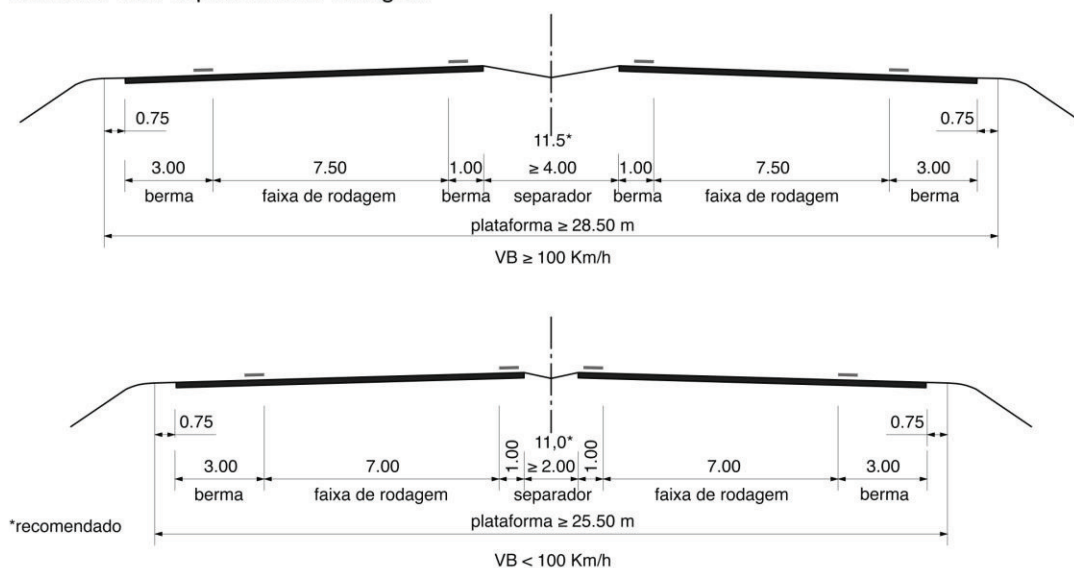


Figura 29 - Perfis transversais tipo

#### III.5.2 PERFIS SOBRE OBRAS DE ARTE

Sobre uma obra de arte deve ser mantida a largura da faixa, ou faixas de rodagem, assim como das bermas pavimentadas, esquerda e direita, existentes em secção corrente.



Uma regra absoluta, que deve ser sempre respeitada pelos projectistas, é a seguinte: o traçado em planta e perfil, assim como a sobrelevação não devem ter, nas imediações das obras de arte qualquer variação brusca.

No caso de haver guardas de segurança nos acessos à obra de arte, estas devem ser mantidas ao longo da mesma.

A face anterior das guardas de segurança deve ficar na vertical do limite da berma. A distância livre entre a guarda de segurança e a guarda da obra de arte depende do tipo de guarda. No entanto, a guarda da obra de arte pode funcionar como guarda de segurança, se for concebida para o efeito.

Os passadiços de serviço devem ter uma largura de 0.50 m e ser de nível com o pavimento.

### **III.5.3. PERFIS SOB OBRAS DE ARTE**

Quando a estrada passa sob uma obra de arte, a faixa de rodagem, assim como as bermas pavimentadas têm a mesma largura que em secção corrente.

A distância livre mínima do paramento interior de um apoio ao limite mais próximo da berma deve ser de 1.20 m.

As distâncias referidas são aumentadas se tal for necessário por razões de visibilidade, no caso da obra de arte se situar em curva.

Se existir um pilar no separador a distância mínima às bermas deve ser de 1.20 m.

No caso de separadores com largura igual ou inferior a 2.0 m, não é aceitável a existência de qualquer apoio.

A altura livre mínima acima do pavimento da estrada deve ser de 5.0 m<sup>11</sup>.

## **III.6 - CRITÉRIOS ESPECÍFICOS PARA ESTRADAS DE FAIXA DE RODAGEM ÚNICA**

### **III.6.1. PERFIL LONGITUDINAL**

Nas concordâncias convexas, não sendo possível assegurar a distância de visibilidade de ultrapassagem, deve adoptar-se um raio que assegure unicamente a distância de visibilidade de paragem. Com efeito, a existência de distâncias de visibilidade intermédias é perigosa, pois pode ocasionar tentativas de ultrapassagem dos condutores mais inconscientes e não familiarizados com a estrada.

### **III.6.2 PERFIL TRANSVERSAL**

Quando numa estrada de faixa de rodagem única haja um trecho com dupla faixa de rodagem, ou na situação inversa, a extensão desse trecho não deve ser superior a 3 km (ver capítulo III.2.4.1), sendo a sua extensão mínima de 2 km.

A fim de se evitar a sensação de descontinuidade do perfil transversal anterior, não se devem efectuar as terraplenagens relativas a um futuro alargamento quando se passe de um trecho com 2x2 vias para um trecho com 2 vias. A transição da zona com 2x2 vias para 2 vias deve efectuar-se pela supressão da via da esquerda, antes do fim do separador – regra única de

---

<sup>11</sup> A altura livre mínima para sinalização vertical colocada por cima da via é de 5.5 m.

rebatimento da esquerda sobre a direita. A transição da zona de 2 vias para 2x2 vias deve efectuar-se pela introdução da via à esquerda, após o início do separador.

### III.6.3. POSSIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM

Podem determinar-se as possibilidades reais de ultrapassagem pela expressão:

$$PR = IT \times PU (\%) \text{ e } IT = e^{-0.0018626VHP}$$

em que:

- PR      percentagem de oportunidades reais de ultrapassagem;
- IT      percentagem horária dos intervalos de tempo ( $\geq 25$  s) que permitem efectuar uma ultrapassagem;
- PU      percentagem de traçado com distância de visibilidade não inferior à DU;
- VHP     volume horário do projecto, em sentido contrário, no ano horizonte.

No entanto, é difícil definir com rigor a percentagem de oportunidades reais de ultrapassagem que deve ser garantida pelo projecto de uma estrada, devido ao custo incomportável a que valores elevados daquela percentagem podem conduzir. Como exemplo, refere-se que, no caso de uma estrada em que fosse assegurada a distância de visibilidade de ultrapassagem em 70% do seu traçado, e para um volume horário de projecto de 500 veículos/hora num sentido, a percentagem de oportunidades reais de ultrapassagem no sentido contrário seria unicamente de 28%.

A fim de se assegurar um nível de serviço razoável a distância de visibilidade de ultrapassagem deve ser garantida em pelo menos 40% do traçado.

Entre as medidas a adoptar para se obter um traçado com maior percentagem de zonas de ultrapassagem podem considerar-se as seguintes:

- a) alinhamentos rectos mais extensos;
- b) vias adicionais, de ultrapassagem, alternadas, em zonas planas ou onduladas;
- c) vias adicionais, para veículos lentos, nas rampas e nos declives com grande extensão e inclinação;
- d) duplicação da faixa de rodagem em certas zonas.

As zonas de estrada onde não seja possível ultrapassar não devem ter extensão superior a 1.5 km e excepcionalmente, mediante justificação, a extensão desta zona pode atingir os 3.0 km.

As vias adicionais referidas não devem coincidir com pontos singulares da estrada (*intersecções, nós de ligação, curvas de pequeno raio ou declives*). A extensão das vias adicionais deve estar preferencialmente compreendida entre 1000 e 1500 m [21], e devem distar umas das outras, no mesmo sentido, em média, 10 km (5 a 15 km). O comprimento das vias adicionais, bem como o respectivo espaçamento devem ser objecto de cálculo justificativo.

## III.7 - CRITÉRIOS ESPECÍFICOS PARA ESTRADAS COM DUPLA FAIXA DE RODAGEM

### III.7.1. TRAÇADO EM PLANTA

Deve ser definido um traçado independente para cada uma das faixas de rodagem, excepto em terreno plano.

Para atravessar uma zona com interesse paisagístico, como seja um bosque, deve adoptar-se um alinhamento curvo, a fim de se poder ajustar convenientemente a estrada à paisagem. Deve prestar-se atenção especial à coordenação entre o traçado em planta e em perfil longitudinal, a fim de se obter uma perspectiva harmoniosa. As curvas em planta, especialmente no caso de raio inferior a 2000 m, devem coincidir com concordâncias verticais sempre que o raio destas seja inferior a 15 000 m.

Ainda quanto ao traçado deve evitar-se o seguinte:

- ângulos de deflexão inferiores a 6.5 grados, entre alinhamentos rectos consecutivos;
- alinhamentos rectos com extensão (em m) superior a 20 VT, sendo VT a velocidade do tráfego (em km/h). Se tal acontecer deve substituir-se o alinhamento recto por um alinhamento curvo com raio superior a 5000 m;
- alinhamentos circulares com extensão tal que o tempo de percurso seja superior a 30 s ou inferior a 5 s, à velocidade do tráfego;
- curvas em S cujo alinhamento recto intermédio seja percorrido em menos de 5 s, à velocidade do tráfego. No caso de isso se verificar pode aumentar-se o raio das curvas de transição de modo a eliminar o alinhamento recto;
- curvas em S com desenvolvimento muito diferente;
- curvas do mesmo sentido cujo alinhamento recto intermédio tenha uma extensão tal que seja percorrido em menos de 10 s, à velocidade do tráfego. Neste caso deve adoptar-se uma única curva de concordância, não necessariamente com raio igual ao de uma das curvas iniciais;
- raios inferiores ao triplo do mínimo normal (RN) nos seguintes casos:
  - i - a seguir a um declive extenso ( $>1000$  m);
  - ii - antes de um nó de ligação, área de serviço ou praça de portagem;
  - iii - sempre que haja possibilidade de ocorrência de gelo ou neve.

### III.7.2 TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL

Em terreno plano ou ondulado recomenda-se que a rasante seja, de preferência, em aterro.

Excepto em terreno plano, deve adoptar-se um perfil longitudinal independente para cada uma das faixas de rodagem.

Devem evitar-se as seguintes situações:

- nós de ligação, áreas de serviço, ou áreas de repouso, em declives extensos (mais de 40 m de desnível);
- intercalar trainéis com pequena extensão ( $<500$  m) e inclinação, entre declives com grande inclinação ( $\geq 6\%$ );



- trainéis com pequena inclinação que coincidam com zonas de reduzida inclinação transversal;
- concordâncias verticais que não coincidam com curvas em planta;
- coincidência de concordâncias convexas de raio mínimo com curvas em planta também de raio mínimo;
- concordâncias côncavas cujo desenvolvimento seja inferior ao da curva em planta com que coincidem;
- concordâncias côncavas cujo raio seja inferior ao sêxtuplo do raio da curva em planta com que coincidem;
- sucessão de concordâncias côncavas, ou convexas, separadas por trainéis de pequena extensão ( $\leq 500$  m).

### **III.7.3. PERFIL TRANSVERSAL**

No separador devem ser sempre instaladas guardas de segurança, excepto se a largura deste for superior a 20.0 m.

A utilização, no separador, de dispositivos que evitem o encandeamento nocturno – barreiras anti-encandeamento – pode justificar-se unicamente em curva e na medida em que as regras de visibilidade sejam respeitadas.

### **III.7.4. AUMENTO DO NÚMERO DE VIAS**

#### **III.7.4.1 Para o lado esquerdo das faixas de rodagem**

Neste caso o aumento do número de vias é efectuado à custa do separador. As vantagens desta solução são as seguintes:

- não são necessárias novas expropriações;
- não é necessário remodelar os ramos dos nós de ligação<sup>12</sup>;
- não é necessário modificar as obras de arte, previstas inicialmente com carácter definitivo.

No entanto, esta solução obriga a considerar inicialmente as expropriações totais, e durante as obras de ampliação o acesso à zona de obras efectua-se pela via da esquerda, o que dificulta a execução dos trabalhos.

Por outro lado a redução da largura do separador pode obrigar a equipar o separador com guarda rígida (de menor largura útil do que no caso de guardas flexíveis, mas implicando maiores desacelerações), o que reduz as condições de segurança.

#### **III.7.4.2 Para o lado direito das faixas de rodagem**

Neste caso a situação é inversa e, portanto, as vantagens da solução anterior são as desvantagens desta solução.

---

<sup>12</sup> Este tipo de alargamento tem levado à utilização de curvas de raio muito reduzido na inserção dos laços preexistentes na via principal, violando assim a expectativa dos condutores. No caso de ramos deste tipo todo o ramo deve ser construído de novo.



A decisão sobre o lado para o qual deve ser feito o alargamento deve ter em consideração os resultados de análise custo-benefício que atenda explicitamente às questões de segurança rodoviária

### **III.7.5. NÓS DE LIGAÇÃO**

O número e a localização dos nós de ligação devem ser considerados desde o Estudo Prévio, e de acordo com o expresso nas conclusões do Estudo de Tráfego.

A distância entre os nós de ligação, em zona rural, deve estar compreendida entre 15 km e 30 km.

## **III.8 - ESTRADAS EM TERRENO DIFÍCIL**

### **III.8.1. GENERALIDADES**

Quando uma estrada se situa numa zona de topografia difícil não é possível adoptar as características geométricas definidas anteriormente, pois isso implicaria custos proibitivos. As considerações relativas a estradas em terreno difícil aplicam-se não só em estradas de montanha, mas também em trechos específicos de um itinerário, onde na generalidade dos restantes trechos são aplicadas as características geométricas normais.

As características a adoptar numa estrada que se localize em terreno difícil dependem não só do relevo topográfico, mas igualmente da natureza do tráfego e das condições de operação. Com efeito, no caso de se preverem elevados volumes de tráfego de veículos pesados, os lacetes devem ter raios maiores e as declividades devem ser mais suaves do que numa estrada com uma percentagem diminuta de veículos pesados. Identicamente, numa estrada em que seja de prever a ocorrência de gelo e neve as declividades devem ser menores do que numa outra onde a possibilidade de ocorrência de tais condições seja muito pequena.

### **III.8.2. ELEMENTOS BÁSICOS**

Nas estradas em terreno difícil, normalmente só o traçado mais conveniente, sob o ponto de vista topográfico, é objecto de estudo, pois os traçados alternativos são em regra muito dispendiosos e com taxas de rentabilidade diminutas, devido ao elevado custo das obras e aos reduzidos volumes de tráfego.

No entanto, o estudo da evolução do tráfego tem uma importância fundamental pois o alargamento futuro de uma estrada em terreno difícil é extremamente oneroso, se não for previsto no projecto inicial. Além disso, a necessidade de manter a circulação, em obras futuras, obriga a que sejam efectuados inicialmente certos trabalhos, mesmo que o estudo económico aconselhe a realizá-los posteriormente.

### **III.8.3. VELOCIDADE BASE**

Embora a velocidade base nestas estradas seja da ordem dos 40 a 60 km/h, podem existir pontos singulares cuja velocidade não impedida seja inferior a esses valores. Esses pontos singulares podem ser: curvas de raio diminuto, locais de visibilidade inferior à DP ou declives superiores ao admissível, devendo evitar-se, sempre que possível, os dois primeiros casos.

A fim de se garantir a homogeneidade do traçado é necessário que a velocidade entre pontos singulares seja aproximadamente uniforme e que as velocidades não impedidas de pontos singulares próximos sejam semelhantes.

Os pontos singulares devem ser perceptíveis a distância conveniente e devidamente sinalizados. Em terreno difícil a extensão de uma secção homogénea deve ser da ordem de 10 km. Excepcionalmente, os raios mínimos absolutos podem ser inferiores aos do Quadro XI e a inclinação máxima dos trainéis superior aos valores referidos no Quadro XIV. No entanto, a inclinação máxima dos trainéis é de 8% em estradas onde se preveja gelo ou neve, e de 10% nas restantes.

Identicamente são de admitir pontos singulares onde não seja possível assegurar a DP pelo que nestes casos se deve limitar, por sinalização, a velocidade de acordo com a visibilidade assegurada.

### **III.8.4. TRAÇADO EM PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL**

#### **III.8.4.1 Planta**

Nestas estradas não há alinhamentos rectos extensos. Pelo contrário, é muitas vezes, impossível separar duas curvas consecutivas do mesmo sentido por um alinhamento recto com a extensão mínima conveniente (distância percorrida durante cinco segundos à velocidade não impedida corresponde à curva de maior raio).

As curvas com raio inferior a 55 m têm normalmente a sobrelevação de 7%. No caso de haver curvas sucessivas de pequeno raio convém adoptar sobrelevações inferiores a 7%, a fim de se facilitar a sua interligação. É preferível diminuir a sobrelevação do que ter inclinações excessivas e efectuar a transição da sobrelevação na parte circular das curvas. Acontece ainda que a reduzida velocidade que o traçado em terreno difícil permite, justifica a adopção de um traçado com sobrelevações inferiores às que seriam de considerar em condições normais.

O traçado em terreno difícil requer um estudo muito cuidadoso da drenagem superficial, tanto mais que são frequentes as inversões de sentido da sobrelevação.

Devem ser consideradas curvas de transição, as quais obedecem aos princípios definidos oportunamente (cap. III.1.4). Identicamente, a transição da sobrelevação é efectuada como preconizado nesta Norma. Exceptua-se a regra relativa ao limite da obliquidade da transição da sobrelevação em 1.5%, que pode não ser respeitada. O essencial nas estradas em terreno difícil é não ter inclinações excessivas.

#### **III.8.4.2 Perfil longitudinal**

A inclinação máxima dos trainéis não deve ultrapassar 8%, em estradas onde se preveja a ocorrência de gelo ou neve, e 10% nos restantes casos. A percentagem de trainéis com inclinações superiores a 7% deve ser a menor possível, não devendo ultrapassar 50%. Nos lacetes a inclinação do intradorso não deve ultrapassar 5%, excepto nos casos onde não seja de prever a ocorrência de neve ou gelo, em que pode ser de 6%.

A variação de inclinação dos trainéis deve ser tanto mais progressiva quanto maiores forem as inclinações.

À saída de um lacete, no sentido da subida, a inclinação da rampa deve ser idêntica à do intradorso da curva, numa extensão de, pelo menos, 40 m.

### III.8.4.3 Visibilidade

Nestas estradas admite-se que haja pontos singulares onde não é assegurada a distância de visibilidade de paragem, que devem ser sinalizados.

Por maioria de razão, em princípio, a distância de visibilidade de ultrapassagem só é assegurada numa percentagem pequena da extensão de estrada, pelo que se devem prever zonas com vias adicionais para ultrapassagem, nos locais onde for mais fácil e económico proceder ao alargamento da plataforma.

O número e comprimento das zonas com vias adicionais dependem da inclinação dos trainéis e dos volumes de tráfego, devendo a solução a adoptar ter como principais objectivos a segurança e a fluidez da circulação.

### III.8.5. PERFIL TRANSVERSAL

Nestas estradas a sobrelargura a adoptar nas curvas deve merecer atenção especial. Com efeito, a consideração de grandes sobrelarguras pode ocasionar custos muito elevados. Deve efectuar-se um estudo tendo em consideração a composição mais provável do tráfego e os veículos a considerar num possível cruzamento de dois veículos em curva. Em princípio, a situação a considerar é a de um camião com um ligeiro de passageiros.

Por razões económicas, a largura das bermas pavimentadas é reduzida nestas estradas, sendo normalmente de 0.50 m nas zonas onde não se preveja a colocação de guardas de segurança.

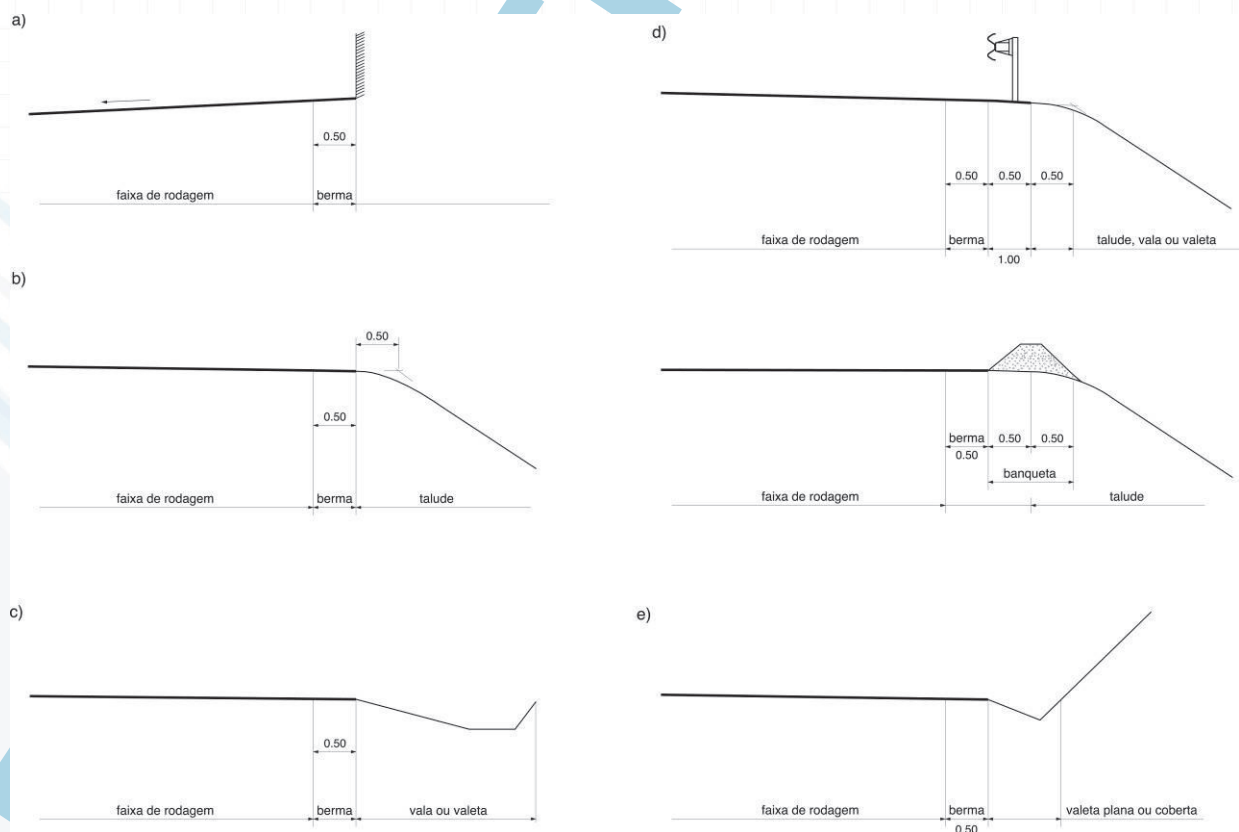


Figura 30 - Estradas em terreno difícil – Bermas



Na Figura 30 referem-se as várias possibilidades relativas às bermas e valetas destas estradas. Considerando as grandes inclinações dos trainéis é necessário revestir as bermas ou, pelo menos, arrelvá-las, a fim de evitar que sejam ravinadas. Sempre que possível, devem prever-se zonas de estacionamento eventual ao longo da estrada, as quais podem ser utilizadas no Inverno para depositar a neve, sem diminuir perigosamente a largura da estrada.

### III.8.6. LACETES

No caso de dois alinhamentos formando um ângulo muito pequeno, é necessário muitas vezes recorrer a um lacete.

Os lacetes são um obstáculo para a fluidez da circulação pelo que só devem ser utilizados quando as condições topográficas não permitem outra solução, sendo sempre objecto de um estudo muito cuidadoso. Os lacetes não são simétricos relativamente à bissectriz e a linha de separação das duas vias não é equidistante dos limites da faixa de rodagem.

Um lacete é constituído por três curvas circulares, as respectivas curvas de transição, e dois pequenos alinhamentos rectos, como se exemplifica na Figura 31.

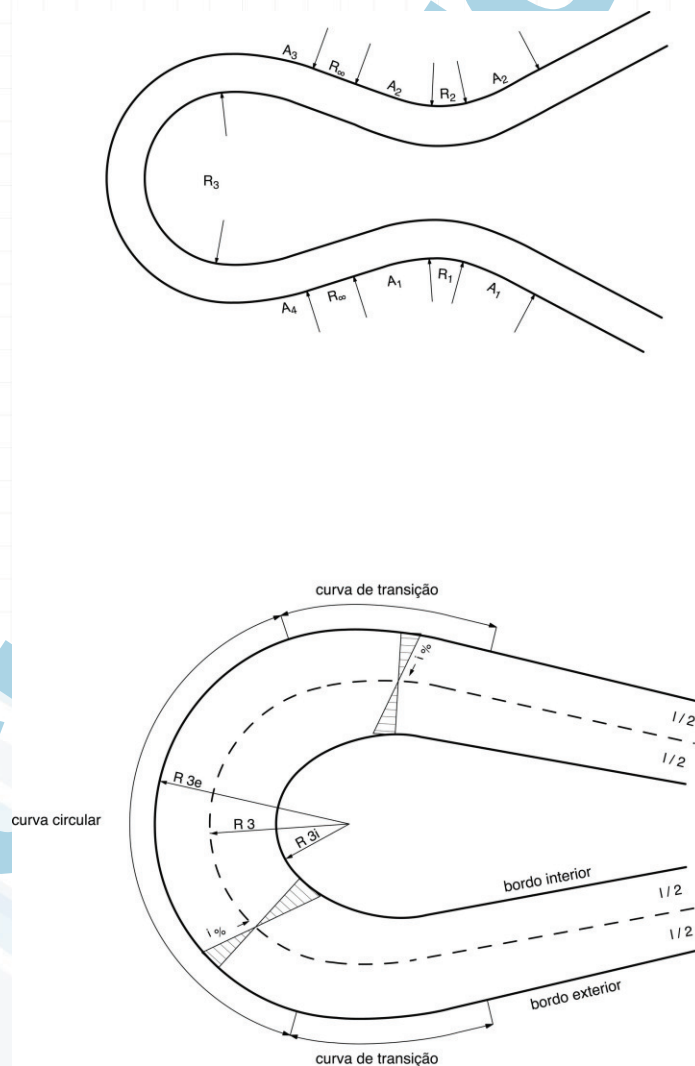


Figura 31 - Estradas em terreno difícil – Lacetes



A velocidade não impedida das curvas de aproximação não deve exceder em mais de 50% a correspondente ao lacete, e o seu sentido de curvatura pode ser contrário ao deste em ambas, ou apenas numa delas.

O raio interior mínimo é de 15.0 m e a inclinação do intradorso é no máximo de 5%. A sobrelevação deve ter em atenção a necessidade de não haver uma inclinação excessiva no extradorso da curva, sobretudo se esta se situa à direita para os veículos que sobem. No Quadro XXVI indicam-se os raios, interiores e exteriores, a considerar nos lacetes.

Em zonas com trainéis de grande inclinação, esta deve ser reduzida no lacete. Os diferentes trainéis devem ser concordados com curvas de raio suficiente para se evitarem mudanças bruscas de inclinação e para prevenir que os veículos longos possam bater no pavimento. Consequentemente, é desejável que o lacete não coincida com uma concordância vertical.

**Quadro XXVI - Raios mínimos nos lacetes**

Raio interior (m)	Raio exterior (a) (m)
15.0	23.25
20.0	28.00
25.0	32.75
30.0	37.50
40.0	47.50

(a) Permite o cruzamento de um camião com um veículo ligeiro de passageiros

### III.8.7. SECÇÕES EM TÚNEL

Em certos casos tem de se recorrer a um túnel, cujas características geométricas devem ser dimensionadas convenientemente, pois o respectivo custo de construção é muito elevado e as possibilidades de modificação depois da construção são praticamente nulas. Num túnel não deve haver curvas de raio inferior a 500 m, nem trainéis com inclinação inferior a 0.2%.

A distância mínima entre os extremos de um túnel e um nó de ligação ou uma intersecção deve ser superior à distância de visibilidade de decisão. A largura da faixa de rodagem é definida em função do tráfego previsível no ano horizonte, devendo manter-se as larguras da via e da berna pavimentada usadas nos trechos adjacentes da estrada. Há que considerar ainda a iluminação, a drenagem, e a necessidade de ventilação no caso de túneis extensos.

Os túneis que não respeitem as características de traçado definidas na Directiva 2004/54/EC do Parlamento Europeu e do Conselho, sobre requisitos mínimos de segurança para túneis da Rede Rodoviária Transeuropeia, devem ser sujeitos a uma análise de risco. De acordo com o Decreto-Lei nº 75/2006, de 27 de Março, esses requisitos mínimos devem ser cumpridos em toda a RRN.

### III.9 – REMODELAÇÃO DE ESTRADAS EXISTENTES

A definição dos elementos básicos para a remodelação de uma estrada existente deve resultar, como no caso de estradas novas, da consideração de variantes. Neste caso, porém, há que considerar vários condicionamentos:

- requisitos de homogeneidade do traçado;
- existência de obstáculos fixos na *área adjacente à faixa de rodagem*;
- travessia de aglomerados urbanos;
- necessidade de manter a circulação durante as obras.

Estes condicionamentos podem dificultar, ou mesmo impedir, a aplicação das normas definidas nos capítulos anteriores. No entanto, deve sempre ter-se em atenção a necessidade de não frustrar a expectativa dos condutores, pelo que deve assegurar-se a coerência entre as várias características da estrada, uma vez remodelada.

A análise detalhada das características da estrada a ser remodelada é essencial para o desenvolvimento do estudo. Para esse efeito devem ser considerados trechos em que haja homogeneidade do tráfego, tanto em volume como em composição.

Uma vez definidos os vários trechos é efectuado o inventário das suas características geométricas, assim como a medição das velocidades instantâneas, e a determinação da velocidade não impedida nas rectas e nas curvas. É também estimado o volume horário do projecto.

Normalmente é mais dispendioso melhorar o traçado em planta e perfil longitudinal, do que alargar a plataforma.

Uma solução pode ser adoptar raios menores do que os mínimos em planta e perfil, e considerar um perfil transversal tipo com 2x2 vias, o qual permite ultrapassagens com comodidade. Nestes casos as condições de segurança devem ser objecto de análise explícita, envolvendo o estudo da sinistralidade.

O estudo económico das possíveis variantes de remodelação de uma estrada existente, deve considerar as condições de segurança, a incomodidade causada aos utentes durante a execução dos trabalhos, assim como as despesas com a conservação dos percursos utilizados temporariamente como desvios. Estes custos são consideráveis, sempre que se trata de uma estrada importante.

A extensão dos trechos a remodelar deve ser, sempre que possível, da ordem dos 20 km. Com efeito, em secções com extensão diminuta não só o custo quilométrico dos trabalhos é superior, como originam problemas de expectativa dos condutores relativamente ao comportamento de condução a adoptar e falta de homogeneidade nas ligações servidas pela estrada.

### III.10 - CONSTRUÇÃO POR FASES

#### III.10.1. GENERALIDADES

Em certos casos pode considerar-se a construção faseada de uma estrada com 2x2 vias, desde que a primeira fase permita assegurar o nível de serviço e as condições de segurança deseja-

das durante pelo menos dez anos. A construção faseada tem como objectivo essencial evitar investimentos avultados desnecessários, por extemporâneos.

Além do faseamento referente a faixas de rodagem e bermas, que já reduz consideravelmente o investimento inicial, pode ainda adoptar-se um faseamento transversal ou longitudinal.

No entanto, o faseamento tem também grandes inconvenientes, como sejam:

- aumento do custo global da construção, devido a ser necessário efectuar trabalhos provisórios, manter a circulação durante os trabalhos relativos à 2.<sup>a</sup> fase, etc.;
- aumento do custo de operação para os utentes, em virtude das condições de circulação e de segurança na primeira fase serem inferiores, assim como perdas de tempo elevadas aquando dos trabalhos relativos à 2.<sup>a</sup> fase.

### **III.10.2. FASEAMENTO TRANSVERSAL**

De acordo com a evolução previsível do tráfego pode ser necessária uma estrada com dupla faixa de rodagem no ano horizonte. No entanto, uma vez efectuado o estudo económico (o qual deve considerar os custos com os acidentes rodoviários) pode concluir-se ser aceitável a construção, numa primeira fase, de uma estrada de faixa única com duas vias. O faseamento transversal é aconselhável principalmente no caso de serem necessários viadutos com grande extensão. No entanto, este faseamento só deve ser adoptado excepcionalmente quando devidamente justificado.

Considerando a necessidade da futura fase do alargamento, e a fim de facilitar o projecto relativo à 1.<sup>a</sup> fase, deve considerar-se o seguinte:

- as expropriações, terraplenagens e obras de arte correntes devem ser efectuadas com carácter definitivo, ou seja as correspondentes à 2.<sup>a</sup> fase (dupla faixa de rodagem);
- as obras de pavimentação são as correspondentes à 1.<sup>a</sup> fase;
- as obras de arte especiais são objecto de estudo especial sobre a oportunidade da sua construção total logo na 1.<sup>a</sup> fase.

Ao elaborar-se o projecto, é necessário respeitar as normas geométricas relativas ao traçado em planta, perfil longitudinal e perfil transversal das estradas com duas vias na 1.<sup>a</sup> fase e ter em consideração a especificidade das estradas com dupla faixa de rodagem na fase final.

A execução com carácter final das terraplenagens e obras de arte correntes, como sejam passagens superiores à estrada, podem criar expectativas erradas nos condutores sobre o tipo da estrada em que circulam. É, portanto, indispensável a colocação de marcação rodoviária e de sinalização vertical cuidadas, bem como um tratamento do ambiente adjacente à estrada conveniente à criação de expectativas adequadas a uma estrada de faixa única.

A segurança da circulação na 1.<sup>a</sup> fase não corresponde ao que seria de esperar do investimento efectuado. Com efeito, têm-se verificado taxas de mortos elevadas, mesmo quando a taxa de acidentes é baixa, devido à elevada velocidade a que circulam os condutores nestas estradas. Também devido às velocidades elevadas que permitem, verifica-se uma grande propensão dos condutores para a realização de manobras de ultrapassagem as quais nem sempre podem ser realizadas pois estas estradas, sendo bidireccionais, nem sempre disponibilizam elevadas percentagens de traçado com a necessária DU.



A fim de facilitar as ultrapassagens, recomenda-se como regra geral, que em pelo menos 40% da sua extensão seja assegurada a distância de visibilidade de ultrapassagem.

Devem merecer atenção especial as ligações da nova estrada à rede existente, uma vez que as condições de circulação na nova estrada e na existente podem ser bastante diferentes. É conveniente acentuar nitidamente essa transição, tanto mais que amiúde as diferenças estruturais não são facilmente perceptíveis de outro modo. Recomenda-se também um arranjo paisagístico e plantações que facilitem a correcta percepção acerca do tipo de estrada na 1.ª fase (faixa única), e que encubram certas obras relativas à fase final efectuadas antecipadamente mas não utilizadas na 1.ª fase.

### **III.10.3. FASEAMENTO LONGITUDINAL**

O faseamento longitudinal pode ser efectuado por secções contíguas ou por definição de prioridades.

O faseamento por secções contíguas assegura a melhoria da ligação de uma forma contínua. Tem, porém, o inconveniente de não permitir melhorar rapidamente as secções mais difíceis, onde as condições de circulação se podem degradar de forma inaceitável.

O faseamento por prioridades permite uma distribuição mais correcta das melhorias ao longo do itinerário. No entanto, tem o inconveniente de transformar a ligação numa estrada heterogénea, ou seja uma sucessão de secções com características totalmente diferentes.

Deve, portanto, programar-se cuidadosamente a execução dos trabalhos e a sequência das secções a melhorar, de modo a que o conjunto seja tão coerente e compreensível pelos condutores quanto possível. Devem merecer cuidados especiais as zonas de transição entre os trechos com dupla faixa de rodagem e os trechos de faixa única, com dois sentidos.

## **III.11 – QUALIDADE DAS CONDIÇÕES DE CIRCULAÇÃO**

O projecto de uma estrada depende fundamentalmente da experiência e da formação do engenheiro projectista. Enquanto durante muitos anos se considerou sobretudo a economia da construção, actualmente o objectivo é conseguir uma solução integrada que também satisfaça as exigências dos utentes, a dinâmica dos veículos e as restrições ambientais.

Para o controlo da qualidade das condições de circulação genericamente associadas a um projecto há que considerar três questões fundamentais:

- a) Similaridade das características geométricas dos elementos de traçado.
- b) Visibilidade.
- c) Homogeneidade de traçado.

### **III.11.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS**

Ao definir-se o traçado deve procurar obter-se uma sequência de elementos contíguos, em planta e perfil longitudinal, similares no que respeita aos valores dos respectivos parâmetros geométricos.

A memória descritiva do projecto deve abordar convenientemente as várias questões que o condicionaram, no que se refere às seguintes características:

- i - Traçado



Velocidades base e do tráfego; valores limite das características geométricas; homogeneidade; coordenação entre a planta e o perfil longitudinal.

#### ii - Perfil Transversal

Número de vias; estabilidade e configuração dos taludes nos casos singulares (exploração dos terrenos, inserção no meio ambiente, etc.); drenagem.

Somente através de métodos exaustivos de controlo se pode garantir a boa qualidade dum projecto. A análise e revisão do projecto devem visar os seguintes objectivos:

- Sequência equilibrada dos elementos do traçado em planta e perfil;
- Coordenação integrada da planta com o perfil longitudinal, assegurando que a progressão da velocidade não impedida seja tão homogénea quanto possível e que a visibilidade seja a necessária.

### III.11.2. GARANTIA DAS DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE

A obtenção de condições de segurança da circulação e de nível de serviço satisfatórias pressupõem a disponibilização de determinadas distâncias de visibilidade mínimas, de forma a ser possível a execução de manobras de paragem atempada dos veículos (visibilidade de paragem) e de ultrapassagem seguras (visibilidade de ultrapassagem). Adicionalmente, na proximidade de locais de mudança da expectativa dos condutores e de zonas de decisão ao nível da navegação ou de recepção de informação complexa, devem ser disponibilizadas distâncias de visibilidade que permitam ao condutor executar atempadamente as acções decorrentes das complexas decisões a tomar nessas situações intrincadas (visibilidade de decisão).

Para a garantia das condições de segurança numa estrada, com uma ou duas faixas de rodagem, é necessário que seja assegurada em todo o seu traçado a distância de visibilidade de paragem. A distância de visibilidade de ultrapassagem também é essencial para apreciação das condições de circulação numa estrada com faixa única e duas vias.

As distâncias de visibilidade de paragem e de ultrapassagem disponíveis, numa determinada estrada, resultam essencialmente do traçado em planta, perfil longitudinal e perfil transversal, devendo ser verificadas separadamente para cada sentido de circulação.

A distância de visibilidade de ultrapassagem (DU) deve ser assegurada em pelo menos 40% do traçado, como se referiu oportunamente. A distribuição da DU ao longo do traçado deve ser tão regular quanto possível.

Quando numa determinada secção, por razões de conservação da paisagem ou de economia, o traçado não garante a distância de visibilidade de ultrapassagem, podem assegurar-se as ultrapassagens, com segurança, pelo recurso a vias adicionais. Nas zonas de visibilidade não devem existir obstáculos que a prejudiquem (taludes, muros, etc.). As árvores e arbustos isolados poderão coexistir nessas zonas desde que os obstáculos que representam para a visibilidade sejam insignificantes e contribuam para a orientação óptica dos condutores.

### III.11.3. HOMOGENEIDADE DO TRAÇADO EM ESTRADAS DE FAIXA DE RODAGEM ÚNICA

#### III.11.3.1 Introdução

Define-se **homogeneidade de traçado** como a conformidade das características da sucessão de elementos do traçado da estrada às expectativas dos condutores não habituais que nela circulam.

Em engenharia rodoviária, o conceito de homogeneidade (ou coerência) de traçado foi definido como forma de prevenir quer mudanças abruptas nas características geométricas de elementos rodoviários contíguos quer o uso de combinações de elementos que não respeitem as expectativas dos condutores. Assim, a um traçado homogéneo correspondem alinhamentos que estão de acordo com o esperado pelo condutor, sem incoerências funcionais ou geométricas, e que não acarretam aumentos súbitos na carga mental<sup>13</sup> associada à tarefa de condução.

Do ponto de vista psicológico, a **expectativa** representa o processo pelo qual um indivíduo, face a um estímulo, lhe responde de determinada maneira, em função de um conjunto construído de conceitos e ideias. Na actividade de condução, a expectativa joga um papel importante, nomeadamente ao nível da síntese dos efeitos da aprendizagem com o conjunto de informação recente (percebida em cada instante), tendo reflexos sobre a atenção/percepção e a decisão/execução. A expectativa determina a prontidão para responder a situações, acontecimentos ou informação, de forma previsível e bem-sucedida. A violação das expectativas do condutor pode levar à adopção de uma conduta inicial inadequada à situação real; a percepção tardia da necessidade de correcção pode originar, num cenário desfavorável, o acidente.

Para avaliação e classificação da homogeneidade de traçado em planta de estradas de faixa de rodagem única da Rede Rodoviária Nacional (RRN) é utilizado um método desenvolvido em Portugal, que incorpora os resultados da observação do comportamento dos condutores nas estradas portuguesas e da modelação das relações entre este comportamento, as características da estrada e a frequência de acidentes ([19] e [20]). Para o efeito, as estradas portuguesas foram divididas em duas categorias: estradas com bermas pavimentadas, correspondendo sobretudo a traçados modernos; e estradas com bermas não pavimentadas, abrangendo, maioritariamente, as estradas de traçado antigo.

A avaliação dos resultados da aplicação experimental do referido método permitiu comprovar uma relação crescente entre a classe de homogeneidade e a taxa média de acidentes corporais: a taxa de acidentes das curvas de melhor classe de homogeneidade é semelhante à dos elementos rectos; e a taxa de acidentes das curvas da pior classe de homogeneidade é cerca de quatro vezes maior do que a dos elementos rectos. Genericamente, nos 1100 km de rede de estradas analisadas nessa aplicação, verificou-se que a taxa média de acidentes em curva (0.35 acidentes por milhão de veículos×km) é cerca de 25% mais elevada do que em recta (0.28 acidentes por milhão de veículos×km).

---

<sup>13</sup> **Carga mental** - parte dos recursos mentais que um operador tem de investir para executar uma tarefa. A carga mental de condução está relacionada com a frequência com que um condutor tem de efectuar uma determinada actividade da tarefa de condução: aumenta com a redução do tempo disponível para executar as actividades de condução (por exemplo, devido a maior velocidade ou a menor distância de visibilidade) e com a complexidade e o carácter de novidade da situação de tráfego.

### III.11.3.2 Avaliação quantitativa da homogeneidade de traçado

#### III.11.3.2.1 Generalidades

Basicamente, podem distinguir-se quatro grandes grupos de métodos para avaliar quantitativamente a homogeneidade do traçado de uma estrada: 1) usando parâmetros de comportamento do tráfego (incluindo estatísticas da distribuição de velocidades ou diagramas da sua evolução ao longo da estrada); 2) usando índices relacionados com a geometria do traçado; 3) por recurso à carga mental da tarefa de condução; 4) e recorrendo a listas de verificação do cumprimento de critérios de homogeneidade.

O método adoptado nesta Norma, para avaliação da homogeneidade de traçado de estradas interurbanas de duas vias e faixa de rodagem única, em Portugal, insere-se no primeiro grupo de métodos e enquadra-se em quatro orientações gerais:

- a) Atender às correlações mais significativas já estabelecidas, para o caso do nosso País, entre o risco de acidente e variáveis descritivas do comportamento do condutor (designadamente a velocidade) e da geometria da estrada;
- b) Fundamentar a avaliação em parâmetros que representem explicitamente o comportamento observado dos condutores nas estradas portuguesas e que permitam a consideração das suas expectativas e da dificuldade do conjunto de manobras a executar por estes;
- c) Considerar, na avaliação da homogeneidade, a variação de energia cinética envolvida na manobra de redução de velocidade, como forma de representar quer as exigências dinâmicas envolvidas pela manobra quer a gravidade das consequências de um eventual acidente;
- d) Atender a que a desaceleração necessária para reduzir a velocidade na entrada da curva deve ser, em valor absoluto, preferencialmente, inferior a  $2.00 \text{ ms}^{-2}$ .

Na análise da homogeneidade de traçado segundo este método considera-se que a velocidade do tráfego numa recta é representada pela *velocidade média de circulação livre* e numa curva em planta pela *velocidade média de circulação não impedida*.

O método de avaliação da homogeneidade de traçado de estradas interurbanas de duas vias e faixa de rodagem única baseia-se no cálculo do diagrama de velocidades médias de circulação não impedida e a sua aplicação prática consiste na execução dos passos seguintes:

- i) divisão da estrada em elementos rectos e curvos (respectivamente rectas e curvas);
- ii) cálculo dos diagramas de *velocidade média de circulação não impedida* (um para cada sentido);
- iii) cálculo do factor de heterogeneidade, que pondera o aumento do risco esperado de acidente em cada curva (relativamente ao risco esperado se o trecho fosse recto) com uma medida da energia cinética a absorver na aproximação à mesma;
- iv) cálculo do valor da desaceleração na aproximação a cada curva;
- v) determinação da classe de homogeneidade de cada curva, em função dos respectivos valores de redução de velocidade, de desaceleração e de factor de heterogeneidade.



Para efeitos de aplicação no projecto de estradas novas não se prevêem dificuldades na obtenção dos valores das variáveis explicativas das equações do método em referência, já que são apenas dependentes das características do traçado em elaboração e susceptíveis de serem obtidos directamente durante o processo de cálculo do mesmo. Igual situação se verificará no caso da remodelação de estradas existentes, uma vez que, habitualmente, tal intervenção obriga ao cálculo de novas directriz e rasante. Já no caso da aplicação para avaliação da qualidade de estradas existentes, é possível que, por vezes, seja difícil a obtenção dos valores de todas as variáveis explicativas. Neste último caso, é possível, como recurso, usar as equações simplificadas apresentadas no *Capítulo III.1.3.2*, devendo ter-se em atenção, no entanto, que tal simplificação diminuirá o rigor dos resultados da análise efectuada.

#### **III.11.3.2.2 Divisão da estrada em elementos rectos e curvos**

De acordo com a presente Norma, as curvas horizontais em estradas da RRN consistem num arco circular (com raio constante) ladeado por arcos de transição, definidos pela equação da clo-tóide, em cada uma das suas extremidades. Estes arcos de transição são desnecessários quando o raio do arco circular é superior a um valor mínimo ( $R_S$ ), o qual depende da velocidade de projecto (ver Quadro XII).

Na divisão da estrada em elementos curvos e rectos, para efeitos de avaliação da homogeneidade de traçado, são aplicadas as seguintes definições:

elemento curvo - trecho de estrada compreendendo o arco circular e  $2/3$  do arco de transição em cada extremidade do arco circular;

elemento recto - trecho de estrada contendo a zona sem curvatura horizontal e  $1/3$  de cada um dos arcos de transição a ela contíguos.

#### **III.11.3.2.3 Cálculo dos diagramas de velocidade média de circulação não impedida**

O cálculo dos diagramas de velocidades médias de circulação não impedida pressupõe a prévia divisão da estrada analisada em elementos rectos e curvos (de acordo com o especificado no parágrafo *III.11.3.2.2*), fundamenta-se em sete hipóteses básicas e inclui diversos passos.

As hipóteses básicas adoptadas são as seguintes:

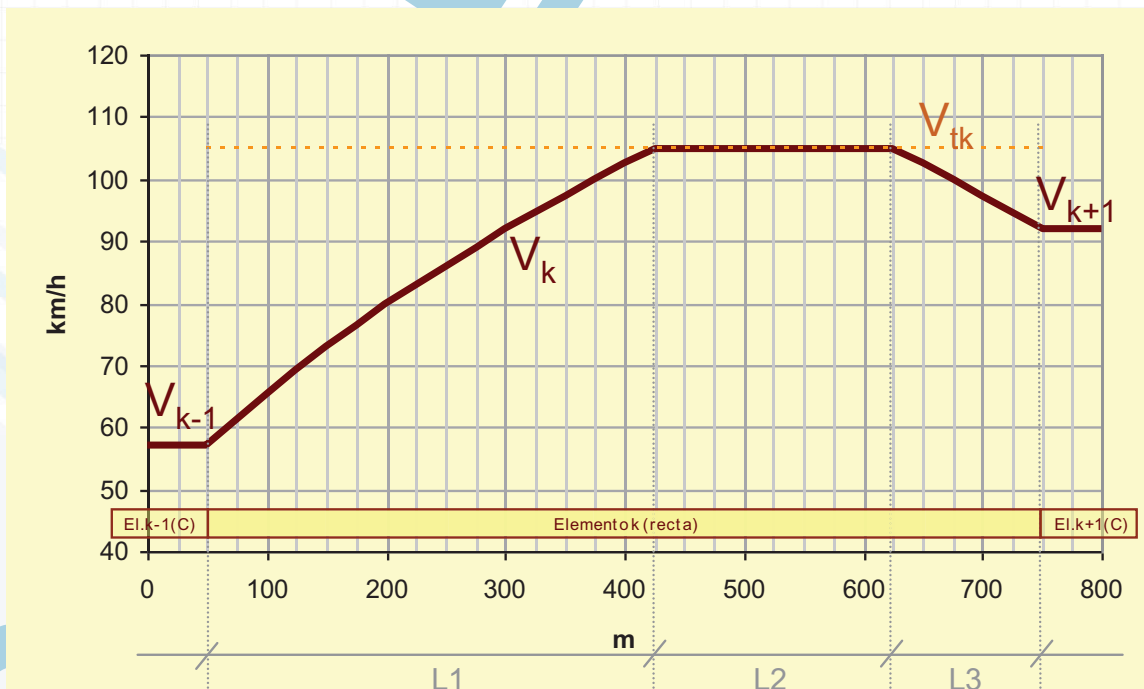
- i)* a velocidade de circulação não impedida escolhida pelos condutores depende, fundamentalmente, das características em planta dos elementos da estrada (rectas ou curvas);
- ii)* o processo de escolha da velocidade de circulação não impedida pelos condutores é representado por modelos de estimativa, de base empírica, em função das características do traçado em planta e em perfil longitudinal;
- iii)* a velocidade de circulação não impedida efectivamente adoptada num determinado elemento depende unicamente das características desse elemento, da velocidade adoptada no elemento anterior e da velocidade a adoptar no elemento seguinte;
- iv)* a velocidade nos trechos curvos é constante, excepto se a velocidade de entrada for inferior à velocidade de circulação não impedida (de base empírica) desse elemento;
- v)* exceptuando o caso anterior, as variações de velocidade são efectuadas nos trechos rectos;



- vi) as variações de velocidade são executadas com uma aceleração uniforme com módulo equivalente a  $0,8 \text{ ms}^{-2}$  (o que corresponde, no caso de redução de velocidade, à quase não aplicação dos travões e, no caso de aumento de velocidade, a uma ligeira pressão no acelerador);
- vii) a cada sentido corresponde um perfil de velocidades de circulação não impedida, dependente da evolução nesse sentido das características do traçado.

O cálculo do diagrama compreende diversos passos que se descrevem seguidamente, de forma sucinta.

- a) Em função das características dos elementos, são calculadas as correspondentes velocidades médias de circulação não impedida teóricas em cada sentido ( $V_{tk}$ , nas Figuras 32 e 33), por aplicação das equações referidas em III.11.3.2.3.1 e em III.11.3.2.3.2, cujos valores máximos estão sujeitos aos limites referidos em III.11.3.2.3.3. Nos elementos curvos, os valores assim calculados correspondem à velocidade média de circulação não impedida; exceptuam-se unicamente os casos das curvas referidas na alínea iv) das hipóteses básicas.
- b) Para cada sentido é calculada a variação da velocidade média de circulação livre em cada elemento recto ( $V_k$  na Figura 32), em função da velocidade de entrada ( $V_{k-1}$ , a velocidade de saída do elemento anterior), da velocidade média de circulação não impedida teórica do elemento ( $V_{tk}$ , como descrito no ponto anterior), da velocidade de saída ( $V_{k+1}$ , velocidade média de circulação não impedida no elemento seguinte) e atendendo ao valor normal de aceleração ( $\pm 0.8 \text{ ms}^{-2}$ ). Genericamente são de considerar três zonas, conforme exemplificado na figura 3, correspondendo à aceleração desde  $V_{k-1}$  até  $V_{tk}$  (zona L1), à manutenção desta velocidade (zona L2), e à desaceleração de  $V_{tk}$  até  $V_{k+1}$ , a velocidade da curva confinante com o final do elemento recto em consideração (zona L3).



**Figura 32** – Variação da velocidade média de circulação livre num elemento recto (k)

- b1)** Se a velocidade de entrada for inferior à velocidade média de circulação livre teórica do elemento recto ( $V_{k-1} < V_{tk}$ ), considera-se uma zona de aumento da velocidade (designada por L1 na Figura 32), sendo o respectivo valor calculável mediante a equação seguinte:

$$V = \sqrt{V_{k-1}^2 + 20.736 \times (d - d_0)}$$

em que:

- V – velocidade média de circulação não impedida numa secção arbitrária da zona L1 (km/h);
- $d_0$  – valor da quilometragem da secção de início do elemento recto (m);
- d – valor da quilometragem da secção em consideração (m).

O comprimento  $L_1$  da zona L1 pode ser calculado através da equação seguinte:

$$L_1 = \frac{(V_{tk}^2 - V_{k-1}^2)}{20.736}$$

- b2)** Uma vez atingido o valor da velocidade média de circulação livre teórica do elemento ( $V = V_{tk}$ ) considera-se que a velocidade permanece constante (zona L2 na Figura 3), até se verificar a necessidade de abrandamento, para a velocidade da curva no final do elemento recto.
- b3)** Se a velocidade de saída for inferior à velocidade média de circulação livre atingida no elemento recto ( $V_{k+1} < V \leq V_{tk}$ ), considera-se uma zona de diminuição da velocidade (designada por L2 na Figura 32), sendo o respectivo valor calculável mediante a equação seguinte:

$$V = \sqrt{V_{tk}^2 - 20.736 \times (d - d_1)}$$

em que:

- V – velocidade média de circulação não impedida numa secção arbitrária da zona L3 (km/h);
- $d_1$  – valor da quilometragem da secção de início da diminuição de velocidade (m);
- d – valor da quilometragem da secção em consideração (m).

O valor da quilometragem  $d_1$  pode ser calculado subtraindo ao valor da quilometragem na secção final do elemento recto o comprimento  $L_3$  da zona L3, o qual resulta da equação seguinte:

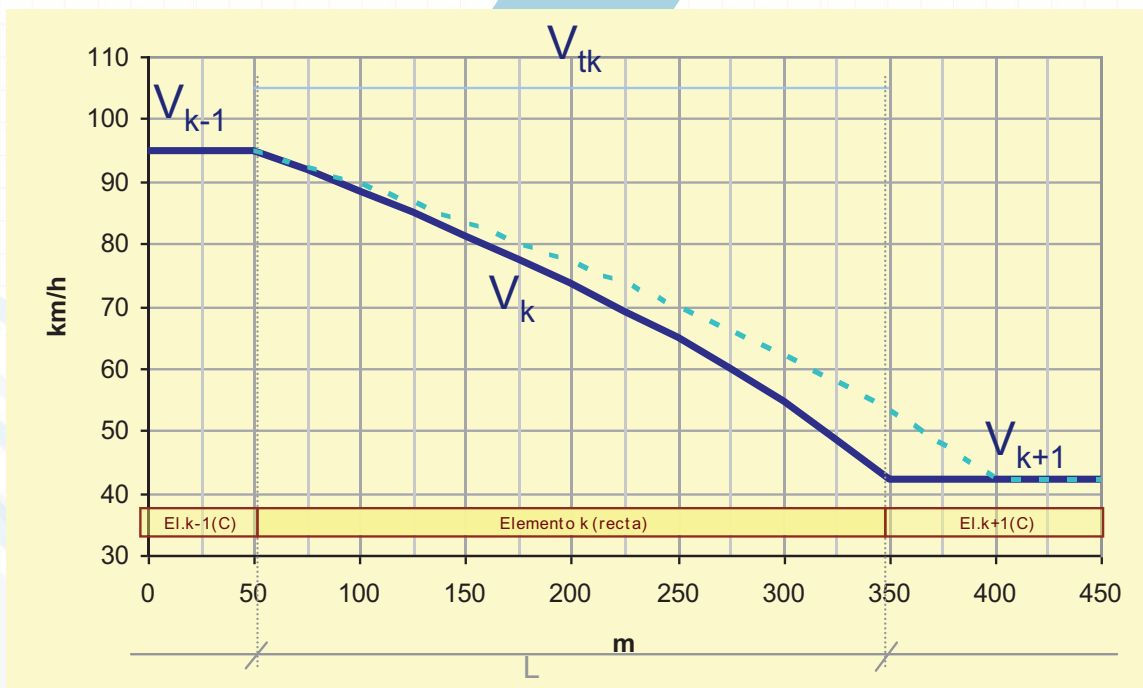
$$L_3 = \frac{(V_{tk}^2 - V_{k+1}^2)}{20.736}$$

A combinação de valores de  $V_{k-1}$ ,  $V_{tk}$ ,  $V_{k+1}$  e do comprimento do elemento recto ( $L=L_1+L_2+L_3$ ), pode determinar a não materialização de algumas das zonas referidas na Figura 32, podendo verificar-se casos em que se verifica: unicamente aceleração (L1); só desaceleração (L2); ou aceleração seguida de desaceleração (L1 e L2) sem se atingir a  $V_{tk}$ , por exemplo por comprimento da recta insuficiente.

- c) Nos casos em que, antecedendo uma curva, não exista comprimento de recta suficiente para efectuar uma travagem normal, é adoptado um valor para a desaceleração que compatibilize a velocidade máxima no elemento recto com a de entrada na curva (Figura 33).

Situações deste tipo verificam-se sempre que o comprimento do elemento recto ( $L$ ) seja inferior ao valor mínimo ( $L_{min}$ ) calculado com a equação seguinte:

$$L_{min} = \frac{|V_{k-1}^2 - V_{k+1}^2|}{20.736}$$



**Figura 33** – Variação da velocidade média de circulação livre num elemento recto (k) cujo comprimento não é compatível com a desaceleração normal

O valor da aceleração a considerar é calculado pela equação seguinte:

$$a = \frac{(V_{km+1}^2 - V_{k-1}^2)}{25.92 \times L}$$

em que:

- a – valor da aceleração ( $\text{ms}^{-2}$ );
- L – comprimento do elemento recto (m).

Para cálculo da variação da velocidade ao longo de um elemento recto deste tipo usa-se a equação seguinte:

$$V = \sqrt{V_{k-1}^2 - 25.92 \times a \times (d - d_1)}$$

em que:

- V – velocidade média de circulação livre numa secção arbitrária do elemento recto (km/h);
- $d_1$  – valor da quilometragem da secção de início do elemento recto (m);
- d – valor da quilometragem da secção em consideração (m).

### III.11.3.2.3.1 Equações para estimativa da velocidade média de circulação livre (elementos rectos)

As equações para estimar a velocidade média de circulação livre (em recta) são as seguintes:

- a) Em estradas com bermas não pavimentadas:

$$V_m = 20.31 - 0.0315 \times S + 0.0081 \times C - 0.2289 \times \text{DECL} + 9.99 \times L_F + 1.7 \times L_S$$

- b) Em estradas com bermas pavimentadas:

$$V_m = -28.52 - 0.047 \times S + 15.75 \times L_F + 0.0237 \times R_{PC}$$

em que:

- $V_m$  – velocidade média de circulação livre em recta (em km/h);
- S – sinuosidade média nos 500 metros antecedendo o início da recta (expresso em  $^{\circ}/\text{km}$ );
- C – comprimento da recta (m);
- DECL – declividade média nos 500 metros antecedendo o início da recta (m/km);
- $L_F$  – largura da faixa de rodagem (m);
- $L_S$  – soma das larguras de ambas as bermas (m);
- $R_{PC}$  – raio de curvatura da curva anterior ao início da recta (m).

A sinuosidade média e a declividade média representam a influência das características anteriormente encontradas pelos condutores ao longo da estrada na escolha da velocidade.



A sinuosidade média é definida como a soma dos ângulos de deflexão da directriz ao longo dos 500 metros anteriores ao início da recta.

A declividade média corresponde à soma das variações de cota da rasante (a subir e a descer) ao longo dos 500 metros anteriores ao início da recta.

### III.11.3.2.3.2 Equações para estimativa da velocidade média de circulação não impedida em curvas

As equações para o cálculo da velocidade média de circulação não impedida em curva são as apresentadas seguidamente:

a) Em estradas com bermas não pavimentadas:

$$V_m = 46.2 + 0.0199 \times L_C - \frac{316.66}{\sqrt{R_C}} + 2.81 \times L_F + 0.391 \times V_{MR}$$

b) Em estradas com bermas pavimentadas:

$$V_m = 16.44 - \frac{158.05}{\sqrt{R_C}} + 2.12 \times L_F + 0.705 \times V_{MR}$$

em que:

- $V_m$  velocidade média de circulação não impedida em curva (km/h);
- $L_C$  comprimento da curva (m);
- $R_C$  raio do arco circular da curva (m);
- $V_{MR}$  velocidade média de circulação livre na recta de aproximação à curva (km/h).

### III.11.3.2.3.3 Limites superiores da velocidade média de circulação não impedida

Recorrendo aos resultados obtidos em estudos relativos às velocidades praticadas pelos condutores nas estradas do País, foram definidos os valores máximos para a velocidade média de circulação livre e para o percentil 85 da distribuição de velocidades de circulação livre (velocidade desejada).

Face aos resultados obtidos com as referidas medições, foi prevista a diferenciação entre estradas com e sem condicionamento de acessos.

Para estradas com acessos não condicionados são de considerar os valores máximos de 97 km/h para a velocidade média de circulação livre e de 120 km/h para a velocidade desejada; e para estradas com acessos condicionados os valores máximos a adoptar são, respectivamente, de 105 km/h e de 127 km/h.

### III.11.3.2.3.4 Cálculo do valor da desaceleração na aproximação a cada curva

Os procedimentos descritos para cálculo dos perfis de velocidades não impedidas (um para cada sentido de circulação) são aplicáveis aos casos do projecto de estradas novas e do projecto de remodelação de estradas projectadas com a Norma de Traçado em vigor.

No entanto, em diversas estradas existentes, projectadas de acordo com normas de traçado antigas, é frequente existirem rectas cujo comprimento é insuficiente para permitir a execução da necessária redução de velocidade na aproximação à curva seguinte, admitindo a aceleração normal de  $-0.80 \text{ ms}^{-2}$ . Nestes casos, considera-se que a desaceleração se fará com maior inten-

sidade do que a normal, sendo o correspondente valor exacto calculado em função da diferença de velocidades (na curva e na recta antecedente) e da distância entre o ponto de velocidade máxima em recta e o início da curva.

### III.11.3.2.4 Cálculo do factor de heterogeneidade de cada curva

A relação entre a energia cinética de um corpo e a sua velocidade não é linear, mas quadrática; assim, as variações de energia geradas pelas manobras na aproximação a uma curva têm uma variação não linear em função da velocidade de aproximação. Por outro lado, diversos estudos permitiram concluir que a gravidade das consequências de um acidente não está relacionada linearmente com a velocidade dos veículos envolvidos no mesmo.

Procurando reflectir estas considerações na classificação da homogeneidade de traçado, foi definido o **factor de heterogeneidade** que permite ponderar os dois aspectos atrás referidos: o aumento do risco esperado de acidente numa curva, relativamente ao valor do risco esperado nesse trecho se ele fosse recto (VRAC) e o aumento quer da dificuldade em reduzir a velocidade na aproximação à curva quer da gravidade de eventuais acidentes, que resultam de maiores níveis de variação da energia cinética na aproximação a uma curva.

O factor de heterogeneidade é calculado com a equação:

$$FH = VRAC \times \frac{E_c^{aprox.}}{E_c^{final}}$$

em que:

FH	factor de heterogeneidade;
VRAC	aumento no risco de acidente corporal devido à curva, calculado com as equações (2) ou (3);
$E_c^{aprox.}$	energia cinética correspondente à velocidade de aproximação (J);
$E_c^{final}$	energia cinética correspondente à velocidade na curva (J).

Os valores calculados com a equação acima apresentada são, ainda, normalizados de modo a obter-se o valor unitário para FH quando a variação de velocidade é nula.

As equações para estimativa do aumento do risco de acidente num trecho em curva, em relação ao que seria de esperar se esse trecho fosse recto, foram derivadas através da combinação dos modelos de estimativa de frequências de acidentes em curva e em recta, tendo sido definidas equações específicas para estradas com bermas pavimentadas e não pavimentadas

Em estradas com bermas não pavimentadas aplica-se a seguinte equação:

$$VRAC = e^{-6.807} \times \frac{(\Delta V_M)^{0.074} \times S^{0.206} \times L_F^{3.28} \times V_{MR}^{0.662}}{TMDA^{0.136} \times L_C^{0.427}} \quad (2)$$

Em estradas com bermas pavimentadas é usada a equação:

$$VRAC = e^{-4.565} \times \frac{(\Delta V_M)^{0.129} \times V_{MR}^{1.923}}{L_C^{0.303} \times TMDA^{0.181} \times L_F^{0.129}} \quad (3)$$

em que:

VRAC	variação no risco de acidente devido à curva;
$\Delta V_M$	máxima variação da velocidade média de circulação não impedida na aproximação à curva (dois sentidos) (km/h);
$L_F$	largura da faixa de rodagem (m);
TMDA	volume de tráfego médio diário anual (veículos);
$V_{MR}$	máxima velocidade média de circulação livre na recta de aproximação (dois sentidos) (km/h);
S	sinuosidade média nos 500 m anteriores ao início da curva ( $^{\circ}/\text{km}$ );
$L_C$	comprimento da curva (m).

### III.1.1.3.2.5 Determinação da classe de homogeneidade de cada curva

As curvas são divididas em cinco classes de homogeneidade, em função do valor do respectivo FH, dos valores da aceleração e da variação de velocidade, de acordo com as combinações de critérios sumariados no Quadro XXVII.

Quadro XXVII - Classificação da homogeneidade de curvas em planta

Classe de homogeneidade	Redução de velocidade (km/h)	Aceleração ( $\text{ms}^{-2}$ )	Factor de heterogeneidade (FH)	
			Categoria de estrada	
			Bermas pavimentadas	Bermas não pavimentadas
O*	$\leq 5$	$> -2$	$\leq 2.5$	$\leq 1.5$
A*	$> 5$		$\leq 3.0$	$\leq 2.0$
B*			$\leq 4.0$	$\leq 3.0$
C*		$\leq 8.0$	$\leq 6.0$	
D**		$\leq -2$	$\leq 8.0$	$\leq 6.0$

\* - Os três critérios têm de ser verificados em simultâneo: "Redução de velocidade", "Aceleração" e "FH".

\*\* - Basta a verificação de um dos critérios "Aceleração" ou "FH".

À classe de homogeneidade "O" correspondem curvas com impacte muito pequeno sobre a velocidade de circulação e cuja influência previsível sobre o comportamento do condutor médio é negligenciável.

A classe de homogeneidade "A" compreende as curvas que impõem uma pequena redução de velocidade e cujo acréscimo de dificuldade na tarefa de condução é suficiente para aumentar o risco relativamente à classe anterior.

As curvas incluídas na classe de homogeneidade "B" obrigam a reduções de velocidade relativamente importantes. O acréscimo de dificuldade na tarefa de condução nestas curvas (relativamente às das classes anteriores) origina um aumento significativo do risco de acidente.



À **classe de homogeneidade “C”** correspondem curvas que obrigam a uma redução importante da velocidade de circulação. A diferença entre a velocidade de circulação na recta de aproximação e na curva tem uma magnitude tal que é difícil ao condutor, simultaneamente, estimar a velocidade apropriada para a curva e reduzir, de forma suave, a sua velocidade de circulação para esse valor.

A **classe de homogeneidade “D”** compreende as curvas que constituem perigosas descontinuidades do traçado, quer por originarem grande diminuição de velocidade quer devido a exigirem grandes desacelerações longitudinais. Nas curvas desta classe, as exigências dinâmicas postas ao binómio “condutor-veículo” estão tão próximas das capacidades do sistema – nomeadamente quanto a coeficientes de atrito mobilizáveis – que os condutores, mesmo que estejam munidos da expectativa correcta e a dedicar níveis normais de atenção à tarefa de condução, dificilmente poderão recuperar atempadamente de erros de percepção de situações fora do habitual.

Como referido, as curvas das classes de homogeneidade “O” e “A” não impõem descontinuidades significativas na homogeneidade do traçado. Em ambos os casos devem ser verificadas as distâncias de visibilidade de ultrapassagem.

As curvas de classe de homogeneidade “B” ou “C” correspondem a situações de potencial violação da expectativa *ad hoc* dos condutores, pelo que, na fase de projecto de novas estradas, só são aceitáveis mediante justificação, fundamentada em condicionantes físicas ou económicas ponderosas. No caso da remodelação de estradas existentes, o alinhamento nas imediações de curvas das classes “B” e “C” deve ser corrigido. Quando a aplicação deste tipo de intervenção se revelar fundadamente impraticável numa determinada curva deve prever-se a sinalização da mesma de acordo com o esquema definido no Anexo I. Verificaram-se melhorias do comportamento do condutor e reduções do risco de acidente em resultado da aplicação generalizada de um sistema uniforme de sinalização de curvas perigosas em vários países e também especificamente em Portugal no IP5.

As curvas da classe de homogeneidade “D” correspondem a descontinuidades graves, com elevada probabilidade de violação da expectativa dos condutores, e acréscimos de risco de acidente, pelo que devem ser eliminadas da RRN, em particular nas estradas com velocidades de circulação elevadas. Não é admissível a existência de curvas desta classe em projectos de novas estradas da RRN. No caso de estradas existentes, o traçado nas imediações destas curvas deve ser remodelado, designadamente através do aumento do raio da curva em análise, da diminuição do raio das curvas adjacentes ou da redução do comprimento das rectas de aproximação. Em situações excepcionais, devidamente fundamentadas, em que a remodelação de uma curva não seja possível, deve a mesma ser sinalizada de forma especial (ver Anexo III) e, se possível, devem ser eliminados os obstáculos perigosos situados na respectiva área adjacente à faixa de rodagem (em ambos os lados da estrada).



### III.11.3.3 Cálculo automático das classes de homogeneidade das curvas de um traçado rodoviário

O cálculo dos diagramas de velocidades médias de circulação não impedida de um traçado rodoviário e a distribuição dos respectivos elementos curvos por classes de homogeneidade de traçado em planta podem ser realizados mediante aplicação de um programa desenvolvido no LNEC para o efeito, designado por “PERVEL”, apto a funcionar em ambiente WINDOWS 98, XP e NT.

O campo de aplicação do programa PERVEL compreende todo o tipo de estradas interurbanas portuguesas com faixa de rodagem única, com acessos condicionados, ou não, e com bermas pavimentadas ou não pavimentadas. O programa pode ser usado na avaliação das condições de homogeneidade de traçado de estradas existentes e no desenvolvimento de projectos quer de estradas novas quer de remodelação de estradas existentes.

O funcionamento do programa pressupõe a prévia divisão da estrada a analisar em elementos rectos e curvos, relativamente aos quais deve ser fornecida informação sobre um conjunto seleccionado de características geométricas.

Como resultado, o programa produz um ficheiro alfanumérico onde constam os números de ordem dos elementos da estrada (rectas e curvas) e, para os sentidos crescente e decrescente da quilometragem, a indicação da classe de perigo dos elementos curvos e o valor da velocidade não impedida ( $V_{85}$ ) que deve ser usada como referência na escolha da velocidade máxima recomendada nas curvas de classes ‘C’ e ‘D’ (ver Anexo III).

## Bibliografia

- 1 D.L. n.º 222/98, de 17 de Julho, alterado pela Lei n.º 98/99, de 26 de Julho e pelo D.L. n.º 182/2003, de 16 de Agosto
- 2 Transportation Research Board: "Highway Capacity Manual – HCM 2000". Washington, D.C., 2000.
- 3 Cardoso, J. L. - Recomendações para definição e sinalização de limites de velocidade máxima em estradas portuguesas. PRP / Qualivia, Lda. Lisboa, 2009.
- 4 Guidelines for the design of rural roads (RAL), Part II: "Alignment (RAS- L)", Section 1: "Elements of the Alignment (RAS-L-1)", German Road and Transportation Research Association, Cologne, Germany, 1973 . Citado por Lamm, R. em Highway Design and Traffic Safety Handbook, 1999 (Ref 241).
- 5 Koepfel, G and H. Bock, "Curvature Change Rate, Consistency, and Driving Speed", Road and Interstate (Strasse und Autobahn), vol.8, Germany, 1970. Citado por Lamm, R. em Highway Design and Traffic Safety Handbook, 1999 (Ref 347).
- 6 Highway Design and Traffic Safety Handbook, Lamm, R. et Al, McGraw-Hill, 1999
- 7 Cardoso, J. L. - Homogeneidade de traçado de Estradas Interurbanas. Elemento de apoio ao Curso 'Segurança e homogeneidade do traçado de estradas. Método para aplicação no projecto e na sinalização de curvas em planta'. LNEC, Lisboa, 2004.
- 8 Nota Técnica 1/2010 - DT- NPTS - Apoio à revisão da norma de traçado. Proposta de equações para estimativa da velocidade do tráfego em curva.
- 9 Guidelines for the Design of Roads (RAL), Part II: "Alignment (RAS- L)", proposals, 1993 and 1995; new edition of RAS-L, German Road and Transportation Research Association, Cologne, Germany, 1995 – citado por Lamm, R. em Highway Design and Traffic Safety Handbook, 1999 – pp 12.12 e 12.13.
- 10 688 - Swiss Association of Road Specialists (VSS), Swiss Norm SN 640 100a, "Elements of Horizontal Alignment," Zurich, Switzerland, 1983. Citado por Lamm, R. em Highway Design and Traffic Safety Handbook, 1999 – pp 12.14 a 12.16.
- 11 A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004 Fifth Edition, AASHTO, Washington, D.C.
- 12 Glennon, J.C."An evaluation of Design Criteria for Operating Trucks Safely on grades." Highway Research Record 312. Texas Transportation Institute, Texas A&M University. (Highway Research Board) (1970): 93-112. Citado pela AASHTO – A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994.
- 13 A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, AASHTO, Washington, D.C..
- 14 Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways (MUTCD). U. S. Department of Transportation. Federal Highway Administration, Washington D.C., 2000
- 15 Note d'Information 52 – Descentes de forte pente et de grande longueur sur routes de type autoroute", do SETRA.
- 16 Swiss Association of Road Specialists (VSS), Swiss Norm SN 640 140 "Alignment, Optical Criteria," Zuerich, Switzerland, 1978. Citado por Lamm, R. em Highway Design and Traffic Safety Handbook, 1999, pp. 16-20 a 16-23.
- 17 Cardoso, J.L.; Roque, C.A. (2001). Área adjacente a faixa de rodagem de estradas interurbanas e sinistralidade. LNEC, Lisboa.
- 18 Human Factors Guideline for Safer Road Infrastructure. PIARC Technical Committee C3.1 Road Safety. Version 01.10.2009.
- 19 Cardoso, J. L. (2001). Homogeneidade de traçado e sinalização de curvas em estradas interurbanas de faixa única. NTSR, LNEC, Lisboa.
- 20 Nota Técnica 3/2010 - DT- NPTS - Apoio à revisão da norma de traçado. Proposta de conteúdo relativo a segurança e homogeneidade do traçado em estradas de faixa de rodagem única.

21 Staba, G. *et al.* Development of Comprehensive Passing Lane Guidelines. Institute of Transportation Studies. University of California at Berkeley.1991.

DOCUMENTO BASE

# DOCUMENTO BASE



## Anexo I - SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>a</b>	Distância do eixo de rotação ao bordo da faixa de rodagem
<b>A</b>	Parâmetro duma clotóide
<b>AR</b>	Alinhamento recto
<b>B</b>	Comprimento de um bisel
<b>DD</b>	Distância de visibilidade de decisão
<b>DP</b>	Distância de visibilidade de paragem
<b>DU</b>	Distância de visibilidade de ultrapassagem
<b>EE</b>	Extensão da escapatória
<b>Em</b>	Extensão mínima duma curva
<b>f</b>	Coeficiente de atrito
<b>g</b>	Aceleração da gravidade
<b>G</b>	Inclinação da escapatória
<b>Hc</b>	Distância mínima da obstrução numa curva circular
<b>i</b>	Inclinação dum trainel
<b>j</b>	Taxa de variação da aceleração centrífuga
<b>IC</b>	Itinerário Complementar
<b>IP</b>	Itinerário Principal
<b>IS</b>	Índice de segurança
<b>IT</b>	Percentagem horária dos intervalos de tempo (25 s) que permitem efectuar uma ultrapassagem
<b>K</b>	Coeficiente de atrito ao rolamento, expresso na inclinação do trainel equivalente (%/100)
<b>l</b>	Largura da faixa de rodagem
<b>L</b>	Extensão de uma clotóide
<b>LR</b>	Cumprimento de um alinhamento recto
<b>PR</b>	Percentagem de oportunidades reais de ultrapassagem
<b>PU</b>	percentagem de traçado com distância de visibilidade não inferior à distância de visibilidade de ultrapassagem
<b>R / Rc</b>	Raio duma curva circular
<b>RA</b>	Raio mínimo absoluto
<b>RN</b>	Raio mínimo normal
<b>RS</b>	Raio mínimo sem sobrelevação
<b>Rv</b>	Raio duma curva vertical
<b>Se</b>	Sobrelevação duma curva
<b>SI</b>	Sobrelargura duma curva
<b>TMD</b>	Tráfego médio diário
<b>V</b>	Velocidade de entrada numa escapatória
<b>V<sub>85</sub></b>	Velocidade não impedida
<b>VB</b>	Velocidade base
<b>Vf</b>	Velocidade no fim do trainel de uma escapatória
<b>VHP</b>	Volume horário de projecto
<b>Vi</b>	Velocidade no início de um trainel duma escapatória
<b>VT</b>	Velocidade do tráfego
<b>Zv</b>	Extensão da zona com inclinação longitudinal $\leq 0.5\%$ numa curva vertical
<b><math>\Delta i</math></b>	Inclinação longitudinal do bordo exterior da faixa de rodagem, em relação ao eixo (%)
<b><math>\Delta R</math></b>	Ripagem de uma curva circular

# DOCUMENTO BASE

## Anexo II - TERMINOLOGIA

### 1. ESTRADAS

- 1.1 **Estrada principal ou prioritária** - Estrada cujo tráfego tem prioridade de passagem em todas as intersecções com outras estrada.
- 1.2 **Estrada secundária** - Estrada de menor importância cujo tráfego cede a passagem sempre que cruza com uma estrada principal.
- 1.3 **Itinerário principal (IP)** - Estrada de maior interesse nacional, que serve de base de apoio a toda a rede rodoviária nacional, e que assegura a ligação entre centros urbanos com influência supra distrital e destes com os principais portos, aeroportos e fronteira.
- 1.4 **Itinerário complementar (IC)** - Estrada que assegura ligação entre a rede nacional fundamental (IP) e os centros urbanos de influência concelhia ou supra concelhia, mas infra distrital de maior interesse regional ou que é uma das principais vias envolventes das áreas metropolitanas de Lisboa e do Porto.
- 1.5 **Via expresso** - Estrada com condicionamento de acessos e sem cruzamentos de nível. Estas estradas destinam-se a tráfego de longo curso e são reservadas a veículos motorizados.
- 1.6 **Via rápida** - Estrada destinada ao tráfego rápido, com separação de correntes de tráfego, com parte ou a totalidade dos acessos condicionados e, geralmente, sem cruzamentos de nível.
- 1.7 **Auto-estrada** - Via pública destinada a tráfego rápido, com separação física de faixas de rodagem, sem cruzamentos de nível nem acesso a propriedades marginais, com acessos condicionados e sinalizada como tal.
- 1.8 **Via reservada a automóveis e motociclos** - Via pública onde vigoram as normas que disciplinam o trânsito em auto-estrada e sinalizada como tal.
- 1.9 **Via de serviço** - Estrada cuja finalidade é canalizar e distribuir o tráfego local.

### 2. TRÁFEGO RODOVIÁRIO

- 2.1 **Ano horizonte** - O múltiplo de cinco mais próximo do ano que se obtém adicionando vinte anos à data prevista para abertura ao tráfego do empreendimento projectado.
- 2.2 **Capacidade de tráfego** - Máximo fluxo horário estável passível de atravessar uma dada secção, para as condições geométricas e de tráfego existentes (ou previstas).
- 2.3 **Densidade do tráfego** - Número de veículos ocupando uma determinada extensão da via (ou de uma via de tráfego) expresso em veíc./km ou veíc./km/via de tráfego.
- 2.4 **Distância de visibilidade** - Extensão contínua de estrada que o condutor de um veículo pode ver de um dado ponto, quando a sua visão não é interceptada por outros veículos.
- 2.5 **Distância de visibilidade de paragem** - Mínima distância de visibilidade de que necessita o condutor de um veículo, que se move a uma dada velocidade, para fazê-lo parar antes de atingir um obstáculo visto na faixa de rodagem.
- 2.6 **Distância de visibilidade de decisão** - Mínima distância de visibilidade de que necessita o condutor de um veículo para tomar decisões atempadas.
- 2.7 **Distância de visibilidade de ultrapassagem** - Mínima distância de visibilidade de que deve dispor o condutor de um veículo para ultrapassar outro, com segurança e comodidade.
- 2.8 **Intersecção** - Zona comum às faixas de rodagem de duas ou mais estradas que se cruzam de nível sob quaisquer ângulos, na qual se podem encontrar os veículos que para ela



convergem.

- 2.9 Nível de serviço** - Medida qualitativa das condições de circulação (densidade do tráfego, velocidade média e percentagem de perda de tempo) asseguradas aos utilizadores por uma infra-estrutura rodoviária.
- 2.10 Nível de serviço A** - Permite uma circulação livre, pelo que os condutores não são afectados uns pelos outros, sendo a liberdade de escolha da velocidade desejada extremamente elevada. O nível de conforto e conveniência proporcionado é excelente.
- 2.11 Nível de serviço B** - Permite correntes de tráfego estáveis, mas começa a sentir-se o efeito da presença de outros veículos. A escolha da velocidade desejada não é praticamente afectada, mas há uma diminuição da liberdade de manobra, pois a presença de outros veículos condiciona o comportamento individual.
- 2.12 Nível de serviço C** - Permite correntes de tráfego estáveis, mas as condições operacionais dos utentes começam a ser seriamente afectadas pela interacção dos outros condutores. A selecção da velocidade é afectada e as manobras requerem grande atenção dos condutores.
- 2.13 Nível de serviço D** - A corrente de tráfego ainda é estável, mas os volumes são elevados. A velocidade e a liberdade de manobra são severamente restringidas e o nível de conforto e conveniência é diminuto. Um pequeno aumento do volume de tráfego ocasiona normalmente grandes dificuldades de circulação.
- 2.14 Nível de serviço E** - As condições operacionais são as correspondentes à capacidade. A velocidade de todos os veículos é baixa mas uniforme, e o conforto e a conveniência são extremamente diminutos, sendo a frustração elevada. A circulação a este nível é instável, pelo que um pequeno aumento do volume, ou a menor perturbação na corrente de tráfego, provocará a interrupção da circulação.
- 2.15 Nível de serviço F** - Corresponde à circulação forçada com interrupções. Este nível de serviço verifica-se quando o volume de tráfego excede a capacidade da estrada, provocando a formação de filas de espera. As condições operacionais caracterizam-se por ondas para arranca, sendo fortemente instáveis.
- 2.16 Nó de ligação** - Conjunto de ramos de ligação na vizinhança de um cruzamento a níveis diferentes, que assegura a ligação das estradas que aí se cruzam.
- 2.17 Percentagem de perda de tempo** - Valor médio, expresso em percentagem, do tempo total do percurso em que os veículos circulam em pelotão atrás de veículos mais lentos devido à impossibilidade de ultrapassar numa estrada de faixa única.
- 2.18 Separador** - Zona ou dispositivo (e não simples marca) destinada a separar tráfegos do mesmo sentido ou de sentidos opostos.
- 2.19 Velocidade base** - Velocidade estabelecida na elaboração do projecto, que condiciona as características geométricas da estrada.
- 2.20 Velocidade desejada** - velocidade não impedida em recta.
- 2.22 Velocidade de operação** - Maior velocidade média possível numa estrada, para um dado veículo e sob determinadas condições.
- 2.23 Velocidade de circulação livre** - velocidade de circulação dum veículo ligeiro, num trecho de estrada com densidade de tráfego muito baixa. Sobre a distribuição das velocidades de circulação livre podem ser definidas as estatísticas média e percentil 85, correspondendo a primeira à **velocidade média de circulação livre**.
- 2.24 Velocidade média do tráfego** - Média das velocidades médias de cada um dos veículos que circulam na estrada, durante um período determinado;



- 2.25 Velocidade não impedida** - velocidade a que circulam os condutores (em rectas e em curvas) sob condições de baixo volume de tráfego, sem condicionantes devidas aos outros condutores. Corresponde aproximadamente ao percentil 85 da distribuição de velocidades de circulação livre, para situações em que menos de 25% dos condutores circule em fila.
- 2.26 Velocidade do tráfego** - Velocidade que é excedida somente por 15% dos veículos (percentil 85 da distribuição de velocidades observada). No caso desta norma estabeleceu-se uma relação teórica entre a velocidade base e a velocidade do tráfego, o que corresponde a considerar que o desvio padrão da distribuição é constante para toda a rede rodoviária.
- 2.27 Via de aceleração** - Via destinada a permitir que os veículos que entram numa estrada adquiram a velocidade conveniente para se incorporarem na corrente de tráfego principal.
- 2.28 Via de desaceleração** - Via destinada a permitir que os veículos que saem duma estrada abrandem a velocidade, já fora da corrente de tráfego principal.
- 2.29 Volume de tráfego** - Número de veículos que circulam numa dada secção da estrada, durante um intervalo de tempo determinado. É geralmente expresso em veículos por unidade de tempo (hora, semana ou ano).
- 2.30 Volume da n.<sup>a</sup> hora de ponta anual** - Volume horário de tráfego que, numa estrada, só é excedido n-1 vezes durante um ano.
- 2.31 Volume horário de projecto** - Volume horário futuro a considerar no projecto, normalmente o correspondente à 30.<sup>a</sup> hora de ponta no ano horizonte.
- 2.32 Zona livre** - Área adjacente à faixa de rodagem, disponível para o uso seguro por parte de veículos descontrolados. Esta área é, normalmente, composta por uma berma, um talude recuperável, um talude irrecuperável e uma área livre terminal.
- 2.33 Área adjacente à faixa de rodagem** - Área entre o limite exterior da faixa de rodagem e o limite exterior da zona da estrada.

### 3 - TRAÇADO

- 3.1 Alinhamento** - Trecho, recto ou curvo, da directriz.
- 3.2 Active** - Rampa em que se sobe no sentido da marcha.
- 3.3 Clotóide** - Curva em que o raio da curvatura é inversamente proporcional ao arco medido a partir da origem (tangência com o alinhamento recto).
- 3.4 Curva de concordância** - Curva que estabelece a ligação entre dois alinhamentos rectos, ou entre dois trainéis.
- 3.5 Curva de transição** - Parte de uma curva de concordância, em geral de raio variável, que estabelece a ligação de um alinhamento recto a uma curva circular ou de duas curvas circulares.
- 3.6 Curva vertical** - Curva de concordância de dois trainéis.
- 3.7 Declive** - Rampa em que se desce no sentido da marcha.
- 3.8 Directriz** - lugar geométrico da projecção, sobre o plano horizontal, dos pontos que, em cada secção transversal, coincidem com o seu eixo, o qual é o centro da faixa de rodagem nas estradas com duas vias e o centro do separador, se este for de largura constante, nas estradas com dupla faixa de rodagem.
- 3.9 Eixo da estrada** - Superfície regradada cuja directriz vertical, coincide sucessivamente com o eixo dos perfis transversais.
- 3.10 Escapatória** - Via de emergência com a finalidade de permitir a paragem, fora da faixa de rodagem, de um veículo descontrolado.

- 3.11 Faixa de rodagem** - Parte da estrada especialmente preparada para o trânsito de veículos.
- 3.12 Inclinação do trainel** - Tangente do ângulo formado pelo trainel com a horizontal. Exprime-se em percentagem e é positiva ou negativa conforme, no sentido da quilometragem crescente, o trainel for aclive ou declive.
- 3.13 Perfil longitudinal** - Representação planificada da superfície de geratriz vertical cujo traço no plano horizontal é a directriz, onde estão indicados a rasante e o terreno natural.
- 3.14 Perfil transversal** - Representação, num plano vertical normal à directriz, das intersecções deste plano com as superfícies da via e do terreno natural.
- 3.15 Rampa** - Trecho de via de rasante não horizontal.
- 3.16 Rasante** - Representação do eixo da plataforma de via em perfil longitudinal.
- 3.17 Sobrelevação** - Inclinação transversal, para o interior de uma curva, dada à superfície do pavimento de uma estrada, Mede-se pela tangente do ângulo formado por esta com a horizontal.
- 3.18 Sobrelargura** - Aumento dado à largura da faixa de rodagem em curva.
- 3.19 Traçado** - Conjunto de características geométricas, em planta, em perfil longitudinal e em perfil transversal, de uma estrada.
- 3.20 Trainel** - Trecho de rasante de inclinação constante.
- 3.21 Via adicional** - Via para a circulação dos veículos lentos, em aclive ou declive, ou para realização de ultrapassagens que permite assegurar o nível de serviço desejado e a segurança da circulação.

#### 4. INTERSECÇÕES

- 4.1 Intersecção** - Zona comum às faixas de rodagem de duas ou mais estradas que se cruzam de nível sob quaisquer ângulos, na qual se podem encontrar os veículos que para ela convergem.
- 4.2 Intersecção em "T"** - Intersecção com três ramos, em que um deles está praticamente no prolongamento de outro, e o terceiro encontra este prolongamento com ângulo compreendido entre 80 e 120 graus.
- 4.3 Intersecção em "Y"** - Intersecção com três ramos, em que um deles está praticamente no prolongamento de outro, e o terceiro encontra este prolongamento segundo um ângulo menor do que 80 graus ou maior que 120 graus.
- 4.4 Intersecção em "Cruz"** - Intersecção com quatro ramos, em que o menor ângulo é superior a 80 graus.
- 4.5 Intersecção em "X"** - Intersecção com quatro ramos, em que um dos ângulos é inferior a 80 graus.
- 4.6 Intersecção Giratória ou Rotunda** - praça formada por cruzamento ou entroncamento onde o trânsito se processa em sentido giratório e sinalizada como tal. O ordenamento geométrico de uma rotunda é caracterizado pela convergência de diversos ramos de sentido único ou não, numa praça central de forma geralmente circular e intransponível, em torno da qual é estabelecido um sentido único de circulação, assumido como prioritário em relação aos fluxos de chegada
- 4.7 Intersecção canalizada** - Intersecção em que o movimento dos veículos se efectua em vias definidas mediante ilhas direccionais e separadoras.
- 4.8 Cruzamento a níveis diferentes** - Cruzamento de duas ou mais estradas, realizado por meio de uma obra de arte, que permite a passagem das diversas correntes de tráfego a

níveis diferentes, sem interferências.

- 4.9 **Ilha central** - Zona interdita à circulação de veículos, situada no centro dum cruzamento giratório, e geralmente de forma circular ou oval.
- 4.10 **Ilha direccional** - Zona delimitada na plataforma, interdita à circulação de veículos, que canaliza o tráfego para passagens bem definidas.
- 4.11 **Ilha separadora** - Zona delimitada na plataforma, interdita à circulação de veículos, que tem função de separador de sentidos ou de vias.
- 4.12 **Ponto de conflito** - Ponto em que os eixos de duas vias de tráfego se cruzam ao mesmo nível.
- 4.13 **Ramo** - Secção de qualquer das estradas que convergem numa intersecção, situada fora dela.
- 4.14 **Ramo de entrada** - Parte do ramo que antecede imediatamente uma intersecção.
- 4.15 **Ramo de saída** - Parte do ramo que sucede imediatamente a uma intersecção.
- 4.16 **Zona de entrecruzamento** - Zona de uma faixa de rodagem de sentido único, em que dois ou mais fluxos se têm de cruzar quando um ponto de convergência é seguido por um ponto de divergência.
- 4.17 **Separador** - Zona ou dispositivo (e não simples marca) destinado a separar tráfego do mesmo sentido ou de sentidos opostos.
- 4.18 **Separador central** - Zona que separa faixas de rodagem de sentidos opostos.
- 4.19 **Separador de sentidos** - Separador de duas correntes de tráfego de sentido.
- 4.20 **Separador de vias** - Separador de duas vias de tráfego.
- 4.21 **Separador lateral** - Separador de duas estradas, das quais uma é de acesso livre e outra é de acesso condicionado ou de grande trânsito.

## 5. NÓS DE LIGAÇÃO






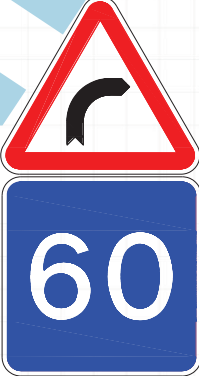


- 5.1 **Cunha** - Área delimitada por duas faixas de rodagem que convergem, ou divergem e pelo nariz.
- 5.2 **Nariz** - Semi-recta perpendicular à bissectriz do ângulo formado por duas faixas de rodagem que convergem, ou divergem.
- 5.3 **Nó de ligação** - Conjunto de ramos de ligação na vizinhança de um cruzamento a níveis diferentes, que assegura a ligação das estradas que aí se cruzam.
- 5.4 **Nó de ligação directo** - Nó de ligação, geralmente com mais de um cruzamento a níveis diferentes, com ligações directas para as viragens à esquerda mais importantes.
- 5.5 **Nó de ligação em diamante** - Nó de ligação com quatro ramos de ligação de sentido único, um em cada quadrante.
- 5.6 **Nó de ligação em forquilha** - Nó de ligação terminal em que não são asseguradas todas as ligações possíveis.
- 5.7 **Nó de ligação em trevo** - Nó de ligação com ligações interiores para as viragens à esquerda e ligações exteriores para as viragens à direita, um nó de ligação em trevo completo tem dois ramos de ligação em cada quadrante.
- 5.8 **Nó de ligação em trompete** - Nó de ligação terminal no qual as viragens à esquerda são normalmente asseguradas por uma ligação interior e uma ligação semidirecta, e as viragens à direita por ligações directas.
- 5.9 **Nó de ligação giratório** - Nó de ligação, em que a estrada principal cruza a nível diferente com uma intersecção giratória na qual todas as viragens, e movimentos directos da estrada secundária, são efectuados.



- 5.10 Nó de ligação terminal** - Nó de ligação com três ramos, um dos quais termina no nó;
- 5.11 Ligação directa** - Ramo de ligação destinado ao tráfego que vira à direita ou à esquerda, em que estes movimentos se executam descrevendo aproximadamente um quarto de volta.
- 5.12 Ligação semidirecta** - Ramo de ligação destinado ao tráfego esquerda, mas com saída e entrada pela direita.
- 5.13 Ligação exterior** - Ramo de ligação destinado ao tráfego que vira à direita, quando o trânsito se faz pela direita.
- 5.14 Ligação interior** - Ramo de ligação destinado ao tráfego que vira à esquerda quando o trânsito se faz pela direita, e em que aquele movimento se executa saindo pela direita e rodando à direita cerca de três quartos de volta, de modo a entrar na nova estrada também pela direita.
- 5.15 Passagem inferior** - Obra de arte destinada a dar passagem a um caminho-de-ferro ou uma estrada de maior importância.
- 5.16 Passagem superior** - Obra de arte destinada a dar passagem sobre um caminho-de-ferro ou uma estrada de maior importância.
- 5.17 Ramo de ligação** - Estrada de um nó de ligação, pela qual os veículos podem entrar ou sair das estradas que se cruzam.
- 5.18 Terminal** - Zona em que um ramo de ligação entronca numa estrada.
- 5.19 Via colectora - distribuidora** - Faixa de rodagem paralela à estrada principal na zona de um nó de ligação, ou entre nós de ligação consecutivos, na qual se efectua o entrecruzamento dos veículos sem interferência com o tráfego de passagem.
- 5.20 Zona de entrada** - Terminal de um ramo de ligação pelo qual o tráfego entra numa estrada.
- 5.21 Zona de saída** - Terminal de um ramo de ligação pelo qual o tráfego sai de uma estrada.



## Anexo III - SISTEMA DE SINALIZAÇÃO DE CURVAS EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HOMOGENEIDADE

	EQUIPAMENTO		
	Delineadores e baías	Sinais verticais	Marcas rodoviárias
A			Linha axial e guias normais
B			Linha axial e guias normais
C			Linha dentada (axial e guias). Marcadores ao eixo
D			Linha dentada (axial e guias). Marcadores ao eixo. Redução da largura de via

**Nota:** a velocidade máxima recomendada a afixar corresponde à velocidade não impedida da curva, e pode ser determinada por consulta do diagrama de velocidades não impedidas do traçado.



Instituto de Infra-Estruturas  
Rodoviárias IP

RUA DOS LUSÍADAS 9, 4.º F · 1300-364 LISBOA

T. +351 213 643 116 · F. +351 213 643 119

[inir@inir.pt](mailto:inir@inir.pt) · [www.inir.pt](http://www.inir.pt)