

PROPOSTA DE CLAUSULADO NORMATIVO PARA O TRAÇADO DE INTERSECÇÕES EM ESTRADAS NACIONAIS

VÍTOR JORGE MONIZ GOMES

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

Orientador: Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França

JULHO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

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

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

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

Aos meus pais,

A nossa grande e gloriosa obra-prima é viver a propósito.

Montaigne, Michel de

AGRADECIMENTOS

O seguinte trabalho foi desenvolvido sob a orientação do Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França, professor associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Desta forma desejo agradecer a todos os que acompanharam a elaboração desta Tese de Mestrado em Engenharia Civil, directa ou indirectamente, pelo apoio e cooperação singular que de boa vontade proporcionaram:

- ao Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França, orientador do presente relatório de projecto, pelos conhecimentos transmitidos, pelo material facultado, pelo rigor exigido, pelo acompanhamento, disponibilidade e atenção dispensados;
- A minha família, em especial aos meus pais, pela compreensão singular que os pais têm e pelo apoio incessante durante a concretização deste relatório.

RESUMO

O presente trabalho, Proposta de Clausulado Normativo para o Traçado de Intersecções, concretizado no âmbito da dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Especialização em Vias de Comunicação, tem por objectivo a concepção de Normas de Traçado para intersecções em T ou X em estradas da Rede Nacional.

Neste trabalho foi feita uma análise rigorosa dos elementos básicos necessários ao projecto de intersecções de nível, tendo sido feita uma caracterização exaustiva do tipo de movimentos que nelas se executam, bem como o estudo dos diferentes dados básicos que condicionam o projecto de uma intersecção.

Foi estudada a importância da canalização na melhoria dos níveis de segurança e de serviço numa intersecção de nível. Para tal foi feita uma explanação dos objectivos da canalização com recurso a exemplos práticos recomendáveis, permitindo uma melhor percepção dos diferentes objectivos.

No âmbito do estudo do tipo de intersecção a implantar, foram estudados os diferentes indicadores que devem ser analisados no estudo do tráfego, permitindo assim perceber a importância de cada um na previsão global do desempenho de uma solução, facilitando e possibilitando uma melhor escolha da intersecção a empregar.

Por fim, são analisadas as directrizes de projecto de entroncamentos e cruzamentos preconizadas nas normas portuguesas, fazendo-se neste documento recomendações e alguma complementação das mesmas, no sentido de as melhorar e colmatar algumas ambiguidades que lhe estão inerentes. Tendo sempre presente que directrizes de projecto bem definidas e fundamentadas melhoram a sua compreensão e consequentemente melhoram a circulação rodoviária.

PALAVRAS-CHAVE: Normas, Geometria do traçado, Intersecções de nível, Cruzamentos, Entroncamentos, Gota Separadora, Ilhéus direccionais.

ABSTRACT

This work, Motion of Standard Clauses for roads intersections, made as part of the dissertation of MSc in Civil Engineering, Specialization in Roads, aims to design Standards roads at T or X intersections in the National Network of highways.

This work consists in a careful analysis of the necessary basic elements for the project's level intersections, which has been based on a detailed characterization of the type of movements that are executed on them, as well as the study of different fundamental data that limit the design of an intersection.

Regarding the study of the type of intersection to develop, it was studied the different indicators that must be examined in the study of traffic, thus realizing the importance of each one in an overall prediction of the performance of a solution and, consequently, it will facilitate and enable a better choice of the intersection to use.

Finally, were analyzed the guidelines of the project's junctions and intersections in the Portuguese rules, by making recommendations and some supplement to them, in order to improve and remedy some of the ambiguities inherent, having ever in mind that the well defined and explained guidelines improve their understanding and, consequently, the road safety.

KEYWORDS: Standards, Track Geometry, Intersections of Level, Crossings, Junctions, Drop Separator, Directional Islands.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. PERSPECTIVA HISTÓRICA	1
1.2. OBJECTIVOS	4
1.3. ESTRUTURA DO DOCUMENTO	4
1.4. GENERALIDADES	5
2. ELEMENTOS BÁSICOS NECESSÁRIOS PARA O PROJECTO	8
2.1. CLASSIFICAÇÃO DAS INTERSECÇÕES	8
2.2. MOVIMENTO DOS VEÍCULOS NAS INTERSECÇÕES	8
2.2.1. MANOBRA DE CONVERGÊNCIA	8
2.2.2. MANOBRA DE VIRAGEM	9
2.2.3. MANOBRA DE DIVERGÊNCIA	10
2.2.4. MANOBRA DE ATRAVESSAMENTO	11
2.2.5. RECOMENDAÇÕES	12
2.3. CONSIDERAÇÕES GERAIS DE PROJECTO	13
2.4. DADOS BÁSICOS PARA O PROJECTO	13
2.4.1. CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL DAS ESTRADAS QUE SE INTERSECTAM	14
2.4.2. DADOS DE TRÁFEGO	17
2.4.3. TOPOGRAFIA E MEIO AMBIENTE	18
2.4.4. CONSIDERAÇÕES ECONÓMICAS	18
2.4.5. FACTORES HUMANOS	18
2.4.6. ESCOLHA DO TIPO DE VEÍCULO	19
2.4.7. VELOCIDADE	21
2.4.8. ZONAS DE PROTECÇÃO (nom aedificandi)	22

3. TIPOLOGIA DAS INTERSECÇÕES	23
3.1. INTERSECÇÕES EM T E EM X	23
3.2. INTERSECÇÕES PRIORITÁRIAS E COM PRIORIDADE À DIREITA	25
3.2.1. INTERSECÇÕES PRIORITÁRIAS.....	25
3.2.2. INTERSECÇÕES COM PRIORIDADE À DIREITA.....	26
3.3. INTERSECÇÕES COM SINAIS LUMINOSOS	27
3.4. GRAU DE CANALIZAÇÃO DAS INTERSECÇÕES PRIORITÁRIAS	29
3.4.1. GENERALIDADES.....	29
3.4.2. INTERSECÇÕES SEM CANALIZAÇÃO DO TRÁFEGO.....	30
3.4.3. INTERSECÇÕES COM CANALIZAÇÃO DO TRÁFEGO.....	31
3.4.3.1. Condições gerais.....	31
3.4.3.2. Soluções com canalização de tráfego por separadores e ilhéus demarcados.....	46
3.4.3.3. Soluções com canalização de tráfego por separadores fisicamente materializados.....	47
3.5. INDICADORES DE DESEMPENHO AO NÍVEL DO POTENCIAL INTRÍNSECO DA SOLUÇÃO	47
3.5.1. GENERALIDADES.....	47
3.5.2. INDICADORES DE DESEMPENHO AO NÍVEL DO POTENCIAL DE INTEGRAÇÃO SISTÉMICA.....	49
3.5.3. CRITÉRIOS DE SELECÇÃO DAS SOLUÇÕES.....	50
4. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS INTERSECÇÕES	51
4.1. GENERALIDADES	51
4.1.1. PRINCÍPIOS BÁSICOS.....	51
4.1.2. ESTRADA PRINCIPAL OU PRIORITÁRIA.....	52
4.1.3. ESTRADA SECUNDÁRIA.....	52
4.2. ALINHAMENTOS	53
4.2.1. GENERALIDADES.....	53
4.2.2. ALINHAMENTO HORIZONTAL.....	53
4.2.3. ALINHAMENTO VERTICAL.....	56
4.2.4. RECOMENDAÇÕES.....	56
4.3. DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE	57

4.3.1. GENERALIDADES	57
4.3.2. DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE DE PARAGEM	58
4.3.3. TRIÂNGULO MÍNIMO DE VISIBILIDADE.....	62
4.4. A CONFIGURAÇÃO DA ESTRADA PRINCIPAL	69
4.4.1. LARGURA DAS FAIXAS DE RODAGEM NA ZONA DE INTERSECÇÃO.....	69
4.4.2. VIAS DE ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO	70
4.4.2.1. Generalidades	70
4.4.2.2. Vias de desaceleração	71
4.4.2.2.1. Viragens à direita	76
4.4.2.2.2. Viragens à esquerda	80
4.4.2.3. Vias de aceleração.....	87
4.4.3. SEPARADORES CENTRAIS.....	93
4.4.3.1. Generalidades	93
4.4.3.2. Largura do separador.....	93
4.4.3.3. Alargamento do perfil transversal tipo.....	94
4.4.3.4. Extensão do separador	96
4.4.3.5. Abertura do separador	97
4.4.3.6. Extremos do separador	97
4.4.3.7. Função da canalização em separadores centrais	99
4.4.3.8. Sinistralidade em intersecções com separador central	99
4.5. A CONFIGURAÇÃO DA ESTRADA SECUNDÁRIA	101
4.5.1. LARGURA DAS VIAS	101
4.5.2. ILHAS CANALIZADORAS.....	103
4.5.2.1. Ilha separadora	104
4.5.2.2. Ilhas direccionais.....	106
4.5.3. CURVAS DE CONCORDÂNCIA COM A ESTRADA PRINCIPAL.....	107
4.5.3.1. Raio mínimo	110
4.5.3.2. Sobreelevação	111
4.5.3.3. Dimensionamento da clotóide.....	112
4.5.4. CONSIDERAÇÕES DE APOIO AO PEÃO	116

5. CONCLUSÕES	118
BIBLIOGRAFIA	121
ANEXOS	123
A. MÉTODO HCM PARA INTERSECÇÕES PRIORITÁRIAS	I
B. TRAÇADO DA ILHA SEPARADORA	XI
C. TERMINOLOGIA	XIX

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 e 2 – Fotografia da Via Ápia e esquema da construção de uma estrada romana (extractos de S. Josemaria, Caminho, n.270).....	2
Figura 3 – Manobra de convergência (extracto dos apontamentos da disciplina de Circulação e Transportes I, FEUP, 2010, Portugal).....	9
Figura 4 – Manobra de viragem (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).....	10
Figura 5 – Manobra de divergência (extracto dos apontamentos da disciplina de Circulação e Transportes I, FEUP, 2010, Portugal).....	10
Figura 6 – Manobra de atravessamento (extracto dos apontamentos da disciplina de Circulação e Transportes I, FEUP, 2010, Portugal).....	11
Figura 7 – Intersecção desalinhada (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).....	12
Figura 8 – Marco quilométrico da Estrada Nacional 369 (Fotografia tirada pelo autor para este trabalho).....	14
Figura 9 – Classificação funcional das intersecções (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).....	16
Figura 10 – Diagrama de tráfego referente ao ano horizonte (extractos do “Manual de estudos de tráfego” do DNIT, 2006, Brasil).....	17
Figura 11 – Coroa circular imposta pelas normas portuguesas (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).....	19
Figura 12 - Dimensões do veículo articulado classe H17 da JAE (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).....	20
Figura 13 – Intersecção em T com os respectivos pontos de conflito (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).....	23
Figura 14 - Intersecção em X com os respectivos pontos de conflito (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).....	24
Figura 15 – Intersecções prioritárias com diferentes graus de canalização (fotografia tirada pelo autor para este trabalho).....	25
Figura 16 – Situações de “impasse” em intersecções em T e em X conflito (extracto dos apontamentos da disciplina de Circulação e Transportes I, FEUP, 2010, Portugal).....	26
Figura 17 – Situações que contrariam as expectativas do condutor (extracto dos apontamentos da disciplina de Circulação e Transportes I, FEUP, 2010, Portugal).....	27
Figura 18 – Cruzamento com sinais luminosos na estrada IC2 (imagem tirada pelo autor para este trabalho).....	28
Figura 19 – Aplicabilidade dos tipos de intersecções prioritárias (extractos da norma inglesa TD 42/95).....	29

Figura 20 – Cruzamento na estrada N13 sem canalização de tráfego (imagem de satélite extraída do Google Earth para este trabalho).	30
Figura 21 – Minimização das áreas de conflito (extracto dos apontamentos da disciplina de Circulação e Transportes I, FEUP, 2010, Portugal).....	31
Figura 22 - Movimentos indesejáveis ou incorrectos devem ser desencorajados ou proibidos através de canalização (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).....	33
Figura 23 - Os elementos da canalização devm definir claramente as trajectórias (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).....	35
Figura 24 - A intersecção deve encorajar a velocidades adequadas e seguras (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).....	37
Figura 25 - A intersecção deve separar os pontos de conflito (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).	39
Figura 26 - As estradas devem cruzar-se com ângulos próximos de 90° graus e as vias de convergências segundo ângulos muito agudos (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).....	41
Figura 27 - A intersecção deve prioritar os movimentos da estrada principal (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).....	42
Figura 28 - Sinalização numa intersecção canalizada (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).	43
Figura 29 - Veículos em processo de desaceleração, ou parados, devem ficar fora da faixa de tráfego directo (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).	45
Figura 30 – Entroncamento na estrada N10 com canalização demarcada (imagem de satélite tirada do Google Earth para este trabalho).	46
Figura 31 – Cruzamento na estrada N109 com canalização fisicamente materializada (imagem de satélite tirada do Google Earth para este trabalho).....	47
Figura 32 – Domínio de aplicabilidade dos diferentes tipos de intersecções em relação ao indicador capacidade potencial (extraído de Roads and Traffic in Urban Areas, Institution of Highways and Transportation, Her Majesty’s Stationery Office, England, 1987).....	48
Figura 33 – Intersecção deslocada na estrada IC2 (imagem tirada do Google Earth para este trabalho).	54
Figura 34 – Métodos de realinhamento (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).	55
Figura 35 – Ajuste em planta para fornecer ao condutor visibilidade antecipada da intersecção (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).....	57
Figura 36 - Restrição de visibilidade devido a uma concordância convexa, na estrada N114 (Fotografia tirada pelo autor para este trabalho).	58
Figura 37 - Critério de visibilidade a partir da via prioritária (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).....	59
Figura 38 – Esquema do triângulo mínimo de visibilidade (extractos da norma JAE P5/90).....	63

Figura 39 – Esquema do triângulo mínimo de visibilidade em recta (extractos da norma JAE P5/90).	65
Figura 40 – Esquema do triângulo mínimo de visibilidade em curva (extractos da norma JAE P5/90).	66
Figura 41 – Triângulo de visibilidade para o tráfego em movimento à esquerda e à direita (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).....	68
Figura 42 – Triângulo de visibilidade para tráfego em movimento em intersecções oblíquas (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).....	69
Figura 43 – Reduções de velocidade em plena estrada prioritária por parte de condutores que pretendam sair da mesma (gráfico elaborado pelo autor para este trabalho).	75
Figura 44 – Via de desaceleração para viragens à direita (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).	76
Figura 45 – Via de desaceleração para viragens à direita na estrada N4 (fotografia tirada pelo autor para este trabalho).	77
Figura 46 – Aplicabilidade das vias de desaceleração do tipo directo para viragens à direita (ábacos da norma JAE P5/90).	79
Figura 47 – Via exclusiva para viragem à esquerda do tipo paralelo (extractos da norma JAE P5/90).	82
Figura 48 – Construção do bisel de curva e contra-curva (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).	83
Figura 49 – Via exclusiva para viragem à esquerda materializada, na estrada N118 (fotografia tirada pelo autor para este trabalho).	86
Figura 50 – Obstrução de visibilidade causada por veículos parados na via de viragem à esquerda (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).....	86
Figura 51 – Vias exclusivas de viragem à esquerda deslocadas (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).	87
Figura 52 – Via de aceleração do tipo paralelo (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).....	88
Figura 53 – Via de aceleração do tipo paralelo na estrada N4 em faixa de rodagem de 2x1 vias (fotografia tirada pelo autor para este trabalho).	89
Figura 54 – Via de aceleração na estrada IC2 com faixa de rodagem de 2x1 vias (fotografia tirada pelo autor para este trabalho).	92
Figura 55 – Transição entre perfis transversais (extractos da norma JAE P5/90).....	95
Figura 56 – Via de aceleração do tipo paralelo (extractos da norma JAE P5/90).....	96
Figura 57 – Extensão do separador com sinalização horizontal demarcada (extractos da norma JAE P5/90).	97
Figura 58 – Extremos dos separadores centrais adjacentes as vias de viragem à esquerda (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).....	98

Figura 59 – Número de acidentes por ano em função da largura do separador central em intersecções rurais de quatro ramos (extractos da Highway Intersections, HRB, National Research Council, Washington, D.C, 1953).....	100
Figura 60 – Solução provida de ilha separadora (quadro elaborado pela TD 42/95).	101
Figura 61 – Largura das vias não prioritárias (Imagem elaborada pelo autor para este trabalho).....	102
Figura 62 – Ilha direccional Largura das vias não prioritárias (extractos da JAE P5/90).	107
Figura 63 – Curva de transição de raio variável ou clotóide (extractos dos apontamentos de Vias de Comunicação D).	109
Figura 64 – Solução de alargamento da entrada (extractos da TD 42/95).....	110
Figura 65 – Distância da passadeira à estrada principal (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).....	117
Figura 1.A - Correntes de tráfego em cruzamentos prioritários (extracto do HCM2000).....	II
Figura 2.A - Níveis hierárquicos (extracto do HCM2000).....	III
Figura 1.B – Esquema do traçado da ilha separadora com $80^{\circ} < \beta < 120^{\circ}$ (extractos da JAE P5/90).	XIII
Figura 2.B – Esquema do traçado da ilha separadora com $\beta > 120^{\circ}$ (extractos da JAE P5/90).....	XV
Figura 3.B – Esquema do traçado da ilha separadora com $\beta < 80^{\circ}$ (extractos da JAE P5/90).....	XVII

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Tipo de intersecção consoante a sua classificação funcional (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).	15
Quadro 2 – Velocidades de base e de tráfego praticadas em estradas nacionais (quadro elaborado pela norma JAE P3-94).	22
Quadro 3 – Distâncias mínimas de visibilidade de paragem (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).	61
Quadro 4 – Distâncias mínimas de visibilidade sobre a estrada principal (quadro elaborado pela JAE P5/90).	67
Quadro 5 – Largura das faixas de rodagem de sentido único numa intersecção (quadro elaborado pela JAE P5/90).	70
Quadro 6 – Adopção de vias de aceleração e desaceleração consoante a classificação funcional das intersecções (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).	71
Quadro 7 – Extensão total mínima das vias de desaceleração em intersecções de nível (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).	75
Quadro 8 – Factores de correcção para a extensão das vias de desaceleração devidos à inclinação da rasante (quadro elaborado pela JAE P5/90).	76
Quadro 9 – Extensão do bisel das vias de desaceleração do tipo directo em intersecções de nível (quadro elaborado pela JAE P5/90).	76
Quadro 10 – Extensão do bisel (EB) das vias de desaceleração do tipo directo em estradas de duas vias segundo a norma inglesa (quadro elaborado pela TD 42/95).	77
Quadro 11 – Redução de acidentes nas intersecções com faixas de viragem à esquerda (quadro extraído do “Simple Types of Intersection Improvements”, James E. Wilson, HRB Special Report, No. 93.).	80
Quadro 12 – Orientação para a adopção de faixas de viragem à esquerda em estrada principais (quadro extraído do livro da AASHTO).	81
Quadro 13 – Extensão total de desaceleração e bisel para as vias de desaceleração de viragem à esquerda (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).	85
Quadro 14 – Extensão adicional para paragem dos veículos (quadro elaborado pela JAE P5/90).	85
Quadro 15 – Extensão total e extensão do bisel para as vias de aceleração do tipo paralelo (quadro elaborado pela JAE P5/90).	88
Quadro 16 – Extensão total e extensão do bisel para as vias de aceleração do tipo paralelo (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).	91
Quadro 17 – Factores de correcção para a extensão das vias de aceleração devidos à inclinação da rasante (quadro elaborado a partir da norma espanhola).	91

Quadro 18 – Extensão da zona de transição do perfil transversal tipo (ET) (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).	95
Quadro 19 – Raios de viragem à esquerda em função do ângulo da intersecção (quadro elaborado pela JAE P5/90).....	105
Quadro 20 – Raios mínimos das curvas de viragem à direita (extractos da JAE P5/90).....	111
Quadro 21 – Variação máxima, em transição linear, da sobrelevação nas concordâncias (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).....	112
Quadro 22 – Valores máximos para a rampa secundária (extractos da norma JAE P3-91).	115
Quadro 23 – Extensão mínima a dar à curva de transição conforme todos os critérios considerados (quadro elaborado pelo autor para este trabalho)	116
Quadro 1.A – Volumes de conflito (extracto do HCM2000).	IX
Quadro 2.A – Intervalo crítico e mínimo de base (extracto do HCM2000).	X
Quadro 3.A - Factores de ajustamento devido à impedância dos veículos (extracto do HCM2000).	X
Quadro 4.A – Níveis de serviço e atrasos (extracto do HCM2000).	X

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

$DP = 2/3,6 \times V + 0,11 \times V^2/2 \times 3,62 \times (fl + wm \pm wi)$	(1).....	59
$wm = wmo \times (1 + V^2/1500)$	(2).....	59
$wi = 0,01 \times i$	(3).....	59
$F = m \times a$	(4).....	60
$Fa = P \times fl$	(5).....	60
$Fg = m \times g$	(6).....	60
$a = g \times fl$	(7).....	60
$Dc = DP + 2/3,6 \times V$	(8).....	62
$d = 1/3,6 \times V \times (t + ta)$	(9).....	63
$S = V0 \times t + 1/2 \times j \times t^2$	(10).....	64
$db = a \times da/(da - b)$	(11).....	68
$Fc = m \times ac$	(12).....	72
$ac = v^2/R$	(13).....	72
$Fc = m \times v^2/R$	(14).....	72
$m \times ac = m \times v^2/R - m \times g \times Se/100$	(15).....	72
$Fa = m \times g \times ft$	(16).....	72
$v^2/R - g \times Se/100 = g \times ft$	(17).....	72
$v^2/R - g \times Se = g \times ft$	(18).....	73
$v^2/3.6^2 R = g \times ft + g \times Se$	(19).....	73
$V^2 = g \times ft + g \times Se \times 3.6^2 \times R$	(20).....	73
$V = (127 \times R \times (ft + Se))^{1/2}$	(21).....	73
$S = v0 \times t - 1/2 \times j \times t^2$	(22).....	73
$vc = v0 - j \times t$	(23).....	74
$S = V0/3,6 \times t - 1/2 \times j \times t^2$	(24).....	74
$Vc = (V0/3,6 - j \times t) \times 3,6$	(25).....	74
$R1 + R2 \times \text{sen}\theta = DB$	(26).....	83
$R1 + R2 = DB/\text{sen}(\theta)$	(27).....	83
$a + b = R1 + R2 - L$	(28).....	83
$a + b = R1 \times \cos(\theta) + R2 \times \cos(\theta)$	(29).....	83

$R1 + R2 \times \cos\theta = R1 + R2 - L$	(30).....	83
$R1 + R2 \times (1 - \cos\theta) = L$	(31).....	83
$R1 + R2 \times (1 - \cos\theta)/(R1 + R2) \times \text{sen}(\theta) = L/DB$	(32).....	83
$(1 - \cos\theta)/\text{sen}(\theta) = L/DB$	(33).....	84
$(1 - (\cos^2(\frac{\theta}{2}) - \text{sen}^2(\frac{\theta}{2}))/ (2 \times \text{sen}(\frac{\theta}{2}) \times \cos(\frac{\theta}{2}))) = L/DB$	(34).....	84
$(2 - \text{sen}^2(\frac{\theta}{2})/2 \times \text{sen}(\theta/2) \times \cos(\theta/2)) = L/DB$	(35).....	84
$\theta = 2 \times \text{Arctg}(L/DB)$	(36).....	84
$x_p = R1 \times \text{sen}(\theta)$	(37).....	84
$y_p = R1 \times (1 - \cos\theta)$	(38).....	84
$S = v_i \times t + 1/2 \times a \times t^2$	(39).....	90
$vt = v_i + a \times t$	(40).....	90
$S = Vi/3,6 \times t + 1/2 \times a \times t^2$	(41).....	90
$Vt = (Vi/3,6 + a \times t) \times 3,6$	(42).....	90
$R1 + R2 = ET/(\text{sen}\theta \text{ ou } \theta'') \text{ ou } 2 \times R = ET/(\text{sen}\theta \text{ ou } \theta'')$	(43).....	94
$\theta' = 2 \times \text{Arctg}(a'/ET) \text{ e } \theta'' = 2 \times \text{Arctg}(a''/ET)$	(44).....	94
$ET = V \times \sqrt{a'}$	(45).....	95
$N = 0,000783 \times Vd^{0,455} \times Vc^{0,633}$	(46).....	99
$L = 3,5 + 55R \text{ (m)} \quad R < 25,0 \text{ m} \quad L = 5,5 \text{ (m)} \quad R \geq 25,0 \text{ m} \quad (47)$	102
$A^2 = r \times l$	(48).....	108
$\Delta Sx(t) = Sx/\Delta t$	(49).....	111
$x = v \times t$	(50).....	111
$\Delta Sx(x) = \Delta Sx(t)/v$	(51).....	111
$\Delta Sx(x) = 3.6 \times \Delta Sx(t)/V$	(52).....	111
$Sx = i + x/L \times (Se - i)$	(53).....	113
$Sx = i + v \times t/L \times (Se - i)$	(54).....	113
$\Delta Sx = (Se - i)/L \times v$	(55).....	113
$L = V \times (Se - i)/9$	(56).....	113
$A = R \times V \times (Se - i)/9$	(57).....	113
$San = j/t$	(58).....	114
$j = v^2/R - g \times Se$	(59).....	114
$t = L/v$	(60).....	114
$San = (v^2/R - g \times Se) \times v/L$	(61).....	114

$San = (v^2/R - 127 \times Se) \times V/46,7 \times L$	(62).....	114
$A^2 = R \times L$	(63)	114
$A1 \geq (V \times R/46,656 \times San \times (v^2/R - 127 \times Se))^{1/2}$	(64).....	114
$\Delta i = a \times Se - a \times i/2 \times L$	(65)	115
$L = a \times Se/2 \times \Delta i$	(66).....	115
$((R \times a \times Se/2 \times \Delta i_{máx})^{1/2} \leq A2$	(67).....	115

1

INTRODUÇÃO

1.1. PERSPECTIVA HISTÓRICA

A via e a vida aperfeiçoam-se ou declinam paralelamente ao longo dos séculos.

A importância das estradas como meio de comunicação é demonstrada ao longo do estudo da história, pelo facto do seu auge estar associado às épocas de máximo esplendor da civilização.

Com o aumento da população nas cidades das primeiras civilizações e a necessidade de comunicar com outras regiões, para obter alimentos ou mesmo transportá-los para outros consumidores, surgiu a necessidade de criar estradas para fazer essas comunicações.

A primeira notícia que temos da existência de uma estrada importante foi de Heródoto, que conta como o rei Quéops mandou construir uma, para levar os materiais necessários à construção da Grande Pirâmide.

Na Babilónia o serviço de comunicações foi relativamente perfeito; sabe-se que partiram quatro grandes eixos rodoviários da capital, um dos quais com aproximadamente 250 quilómetros de comprimento, e consta que em todos eles haviam pousadas para os viajantes descansarem a cada 20 a 27 quilómetros. Segundo Heródoto, foi nestes caminhos que se fizeram os primeiros serviços de correio.

Depois dos mesopotâmicos, seguiram-se os chineses, por volta do século XI A.C, seguidos também pelos Incas da América do Sul, com uma avançada rede de estradas em terrenos sinuosos. No entanto, foi com o Império Romano que as estradas ganharam especial importância, tendo sido implementado o sistema de comunicação mais perfeito da antiguidade clássica.

É difícil de imaginar como é que os Romanos conceberam e realizaram uma tão vasta rede de estradas que unia a metrópole, Roma, aos extremos do seu império.

De realçar que a concepção e os detalhes técnicos de execução das estradas, realizados pelos Romanos, eram de tal maneira perfeitos que só foram igualados pelos vindouros no século XVIII.

Existem estradas de todas as categorias com as principais rotas a partirem de Roma. Na sua generalidade eram construídas com lajes de pedra, sendo as estradas mais luxuosas construídas com azulejos devidamente rejuntados, de modo a serem visíveis apenas as uniões.

Os Romanos, eram muito conscientes da importância da sua rede viária, como estratégia unificadora de todo o seu império. Para eles era uma grande honra construir e cuidar da conservação das estradas, pois era um trabalho visto como serviço essencial do império.

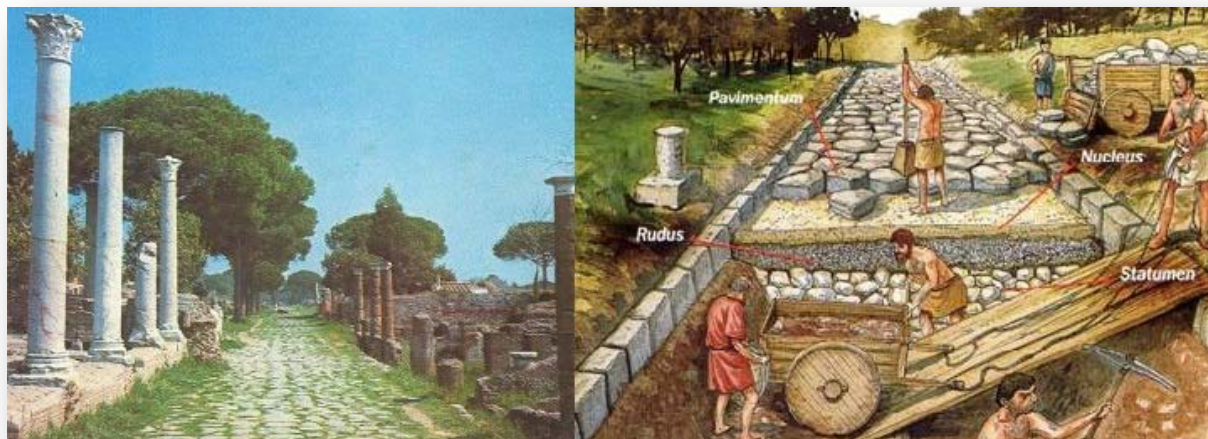


Figura 1 e 2 – Fotografia da Via Ápia e esquema da construção de uma estrada romana (extractos de S. Josemaria, Caminho, n.270).

César Augusto foi nomeado guardião e comissário das principais estradas em redor de Roma, e Júlio César foi nomeado guardião da Via Ápia, uma importante estrada do império, na qual usou parte da sua fortuna na melhoria e adorno.

Após a queda do império Romano, o seu território ficou dividido numa série de pequenas nacionalidades isoladas, desaparecendo a necessidade de comunicação entre os povos, e com isso o abandono da rede romana.

Na Idade Média, após a queda do Império Romano, os caminhos eram deploráveis, fruto de uma organização anárquica que não garantia as mínimas condições de circulação. Esta política anarquista tinha finalidades bélicas, pois os povos sabiam que se tivessem boas acessibilidades, mais depressa os seus inimigos se deslocavam ao seu território, sendo isto, uma desvantagem para a própria segurança da população. Numa época de constantes guerras pelo poder e conquista de territórios. Como isto, foram desaparecendo os veículos dos tempos romanos, fazendo-se o transporte maioritariamente a cavalo ou a pé.

Mais tarde, ilustres reis e políticos de Inglaterra, França e Espanha começaram a preocupar-se com o melhoramento das estradas nos seus países, para facilitar o comércio interno e externo.

Na França, Sully, Barão de Rosny e mais tarde Colbert, são os iniciadores da política de transportes terrestres. Por esta altura o transporte de mercadorias que, se fazia maioritariamente por via marítima e fluvial, pressionou para a criação, em 1716, do corpo de engenheiros denominado “Ponts et Chaussées”.

Em Espanha, foi Carlos III e seu ministro, o conde de Floriblanca, que realizaram os primeiros esforços para melhorar a rede rodoviária espanhola, que segundo alguns autores terá sido das melhores da Europa, em alguns períodos.

Em Inglaterra, os ilustres engenheiros, Telford e Macadam, fizeram grandes esforços na melhoria das estradas em Inglaterra, o primeiro, ao serviço do estado, e o segundo, por iniciativa privada.

Foi por volta destes anos que surgiu um novo meio de transporte terrestre em Inglaterra - o comboio; tendo sido inaugurada a primeira linha em 27 de Setembro de 1825, com Jorge Stephenson, que permitiu o transporte de mercadorias e passageiros a velocidades superiores.

Em 1884 Gottheb Daimler, construiu um motor a combustão interna, e em 1889 com Panhard e Levassor surgiu o automóvel a gasolina. Tinha-se iniciado a época da motorização; a partir deste ponto as estradas começaram a ter uma importância crescente nas comunicações e na economia, tendo a guerra de 1914-1918 consagrado o automóvel como transporte de eleição.

Foi então necessário adaptar as estradas aos novos veículos de transporte, pois circulava-se agora com maiores velocidades, sendo o tráfego cada vez mais intenso.

Houve necessidade de construir pavimentos resistentes com pisos uniformizados. Também as curvas em planta e perfil tiveram que sofrer alterações significativas, particularmente na dimensão dos seus raios.

Os países começaram a preocupar-se com a forma de melhorar as suas estradas. Começou-se então a estudar os problemas que se impunham de uma forma lógica e científica, surgindo então a rodovia moderna.

Uma das problemáticas que surgiu foi a do tráfego misto, tráfego de tracção animal com automóveis, visto que a diferença de velocidades era muito grande, tornando-se muito perigoso e antieconómico. A Itália foi o primeiro país que pensou em segregar o tráfego, construindo estradas especialmente habilitadas para o tráfego automóvel, tendo surgido como negócio privado, antecipando que o pagamento de portagens compensaria o custo de construção e manutenção da estrada.

Alemanha e Estados Unidos foram os países que se seguiram, tendo necessidade de construir novas vias rápidas, com pavimentos adequados, curvas de grandes raios, segregação direccional do tráfego, travessias em diferentes níveis. São estes os problemas que ainda hoje se discutem pelo mundo inteiro devido as seguintes razões fundamentais: ao aumento do número de veículos automóveis, às suas dimensões e pesos e ao aumento da velocidade comercial.

Em Portugal a história das estradas, divide-se em dois períodos fundamentais: a rede de estradas antes e depois da motorização. À semelhança do que aconteceu na Europa, até à segunda metade do século XVIII as deslocações em Portugal faziam-se a pé, com o recurso a animais e por via fluvial, sendo o número de estradas muito reduzido.

Foi apenas com D. Maria I, a partir de 1780, que se iniciou um conjunto de acções e obras, como a construção de pontes, e a realização de projectos para a estrada de Lisboa a Coimbra. A partir daqui houve uma maior preocupação com as políticas do transporte terrestre, tendo estas sido seguidas pelo governo de Costa Cabral (1842-1846) e continuadas até à implantação da I República (1910).

Em 1927 foi criada a Junta Autónoma de Estradas, e em Setembro de 1944 é criado o primeiro Plano Rodoviário Nacional, obra do Engenheiro Duarte Pacheco como Ministro das Obras Públicas. Após esta altura destaco o PRN de 1985, a adesão de Portugal à Comunidade Europeia e o PRN 2000, acções que caracterizam bem o cenário das políticas dos transportes em Portugal na viragem para o século XXI.

Nos dias de hoje, a rede de estradas portuguesa apresenta uma configuração caracterizada pela maior densidade de estradas no litoral, e a sua rarefacção à medida que se caminha para o interior do país,

acompanhando a distribuição dos principais aglomerados populacionais, e por fim dizer, que das mais recentes intervenções por parte do poder público é possível extrapolar preocupações, sobre a função das novas vias enquanto modo para a melhoria das deslocações, mas também para a geração de oportunidades, sendo frequente a alusão ao seu papel para a redução dos efeitos de interioridade e das assimetrias regionais.

1.2. OBJECTIVOS

Este trabalho tem como principal objectivo o estudo e a elaboração de Normas de Traçado de intersecções de nível em T ou em X, a aplicar em estradas da Rede Nacional. Para tal, foi feita a pesquisa e revisão bibliográfica de normas nacionais e estrangeiras, nomeadamente, espanholas, francesas, italianas, inglesas e australianas.

Através do conhecimento das normas nacionais e do tipo de problemas habituais em intersecções de nível, são feitas recomendações no estudo da implantação da intersecção e elaboram-se directrizes de traçado, alternativas as preconizadas nas normas nacionais. Tendo como principal objectivo a salvaguarda da segurança e comodidade dos condutores e peões, aliadas a uma maior fluidez das correntes de tráfego na intersecção de nível no sentido de melhorar as condições de circulação nas estradas nacionais.

1.3. ESTRUTURA DO DOCUMENTO

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. No presente capítulo, para além do enquadramento histórico, apresenta-se o objectivo, a estrutura do documento e uma série de generalidades sobre o tema que acho importante ter presente aquando da leitura deste trabalho.

O segundo capítulo é dedicado principalmente à iniciação ao tema. Descreve-se os tipos de intersecções que existem, as manobras necessárias no funcionamento de uma intersecção de nível e suas particularidades, fazem algumas recomendações e considerações para o melhoramento de intersecções de nível. Abordam-se também as condicionantes de projecto de intersecções, tais como, classificação funcional das intersecções mediante a importância das estradas que se intersectam, dados de tráfego, topografia e meio ambiente, considerações económicas, etc.

No capítulo seguinte, o terceiro capítulo, é dedicado ao estudo das tipologias das intersecções, quer ao nível do sistema de controlo de tráfego, quer ao nível do grau de canalização existente nas intersecções e à relação entre o número de ramos de ligação numa intersecção e seus pontos de conflito. Tem-se especial rigor, na explicação dos diversos objectivos da canalização de acordo com a sua operacionalidade e funcionalidade. Como tal, são apresentados esquemas de diversas situações para melhor se perceber estes objectivos. Fala-se por fim, nos critérios de selecção do tipo de intersecção a implantar, os quais dependem dos indicadores de desempenho ao nível do potencial intrínseco da solução.

As directrizes para o projecto de intersecções de nível estão descritas no quarto capítulo. Em primeiro lugar, fazem-se recomendações ao alinhamento das estradas que se intersectam, sendo estudada a pormenor a questão das distâncias de visibilidade em intersecções. Estuda-se também a formalização da estrada principal na zona da intersecção, incidindo fortemente o estudo sobre as vias de desaceleração e aceleração e sobre os separadores centrais. Por fim, é estudada a formalização da

estrada secundária, coincidindo esta com o estudo das ilhas canalizadoras, das curvas de concordância com a estrada principal, passando pelo dimensionamento de clotóides numa situação concreta, acabando em algumas considerações de apoio ao peão.

Por último, no quinto capítulo, apresentam-se as conclusões retiradas da análise efectuada por este trabalho sobre as normas de intersecções nacionais, ostentando as alterações recomendadas as directrizes de projecto.

1.4. GENERALIDADES

No âmbito deste trabalho, as intersecções referem-se tanto aos cruzamentos como aos entroncamentos, ou seja, quando duas ou mais estradas se atravessam ou se encontram de nível. São os nós da rede mais simples e simultaneamente mais numerosos, quer em ambiente urbano quer em zona rural.

As intersecções de nível são pontos da rede viária onde duas ou mais correntes de tráfego se cruzam, separam ou juntam gerando conflitos que são regulados e resolvidos de acordo com regras predefinidas e específicas de funcionamento.

As intersecções, independentemente da sua localização territorial, são os pontos críticos do sistema viário, como resultado de interferências criadas entre as diferentes correntes de tráfego. Geralmente a capacidade das principais intersecções controla o volume de tráfego no sistema, sendo nestas onde primeiro se registam situações de incapacidade de dar resposta à procura.

As intersecções são zonas particularmente sensíveis do ponto de vista da segurança rodoviária, tendo o maior índice de sinistralidade rodoviária em relação aos restantes componentes do sistema viário. Aproximadamente dois terços de todos os acidentes com feridos e/ou mortos aí ocorrem, por erro de manobra dos condutores ou porque as características geométricas ou a sinalização são deficientes. Como tal, as soluções adoptadas para as intersecções têm grande importância no projecto de uma estrada pois interferem na segurança, capacidade de tráfego, velocidade de operação, além de serem obras de custos significativos em relação ao custo total da estrada.

Finalmente são também os espaços onde, habitualmente, mais se fazem sentir os conflitos de interesses entre as redes rodoviárias motorizadas e as redes pedonais ou de ciclovias, ou mesmo, os sistemas ferroviários ligeiros.

Constata-se que os acidentes devido a colisões com ilhas direccionais, ilhas separadoras e separadores ocorrem principalmente durante a noite pelo que se a intersecção for iluminada registam-se quatro vezes menos acidentes. Portanto uma boa iluminação melhora em grande medida a segurança.

Consequentemente, as intersecções localizadas em Itinerários Complementares deverão ser iluminadas. Na iluminação das intersecções deverão usar-se lâmpadas de vapor de sódio, e as lanternas deverão ser do tipo "distribuição limitada" evitando-se assim o encandeamento dos condutores.

Constata-se ainda que as intersecções em "Cruz" têm uma frequência de acidentes dupla das intersecções em "T".

Embora as intersecções tenham muitos elementos comuns, cada uma deve ser considerada como um problema específico.

Para a implementação de uma intersecção devem analisar-se quatro factores fundamentais: tráfego, condições físicas, económicas e humanas, caracterizando assim a intersecção.

Existe um conjunto muito variado de soluções aplicáveis, que se diferenciam entre si através de um conjunto variado de aspectos, nomeadamente relativamente ao princípio de regulação, ao potencial de desempenho ao longo da vida útil da intersecção, ao tipo de hierarquização dos eixos afluentes ou ao grau de impacto sobre o espaço envolvente. Há portanto um amplo conjunto de valências ligadas à qualidade intrínseca da solução, e outras mais ligadas à sua capacidade de integração ao nível da rede e do espaço envolvente.

As características relativas ao tráfego são a capacidade, viragens, dimensões e características operacionais dos veículos, controle do movimento dos veículos, velocidades e acidentes.

Quanto às características físicas que condicionam o traçado de uma intersecção e à sua canalização são as tipologias das estradas que se cruzam, o tipo de elementos de canalização e a topografia.

Os factores económicos são importantes e muitas vezes condicionam a solução a adoptar, embora normalmente sejam só de considerar para comparar entre si soluções.

Quanto aos factores humanos devem ser considerados os seguintes: hábitos e possibilidade de decisão dos condutores, efeito de surpresa, tempos de decisão e de reacção. As principais dificuldades que têm surgido, normalmente, vêm de um desconhecimento dos condutores sobre como utilizar alguns dos elementos da intersecção, da falta de visibilidade ou de respeito pela sinalização.

Tendo estas características presentes, é importante que o traçado apresente simplicidade, facto que tem sido demonstrado ao longo dos tempos em intersecções com excesso de canalização. Com efeito, devem unicamente prever-se as ilhas estritamente necessárias para a canalização do tráfego.

Portanto, uma intersecção pode ser extremamente simples ou altamente desenvolvida, dependendo a solução a adoptar da avaliação correcta dos factores referidos anteriormente.

Apresentam-se então algumas recomendações para o traçado de intersecções:

- as intersecções nunca devem ser localizadas próximo de curvas horizontais ou verticais, pois as curvas horizontais diminuem a eficácia das travagens, e as curvas verticais e a inclinação dos trainéis, além de diminuírem a visibilidade influenciam ainda as possibilidades de aceleração. Quer isto dizer que, as intersecções devem ser localizadas sempre que possível em alinhamentos rectos ou no extradorso de curvas, onde os trainéis tenham inclinações iguais ou inferiores a 3%. Sendo assim é importante que o estudo prévio do traçado inclua a localização das intersecções, pois estas condicionam o traçado da estrada. No caso de uma estrada nova os elementos que permitem definir as características das intersecções são definidos “à priori”, sendo o seu traçado parte integrante do projecto;
- no caso de remodelação e melhoria de uma intersecção pré-existente, a maior parte dos elementos necessários será obtida analisando as características do tráfego e efectuando previsões quanto à sua evolução futura. Neste caso deve-se também analisar cuidadosamente os dados relativos aos acidentes já verificados;
- o traçado de uma intersecção deve advertir claramente os condutores dos possíveis pontos de conflito e facilitar a condução, separando no tempo os pontos de conflito, ou eliminando-os. Um bom traçado deve revelar as velocidades possíveis nos seus ramos e assegurar os tempos de percepção-reacção necessários aos condutores. A canalização está directamente relacionada

com as exigências dos veículos que têm de efectuar mudanças de direcção e de velocidade, assim como com as reacções dos outros condutores relativamente a essas mudanças. Os condutores prevêem encontrar numa intersecção características geométricas e operacionais habituais pelo que é fundamental que o seu traçado seja homogéneo ao longo do traçado de um itinerário, assim como em todo o país. Um condutor espera que o traçado de uma intersecção tenha sempre as seguintes características:

- assegure a continuidade das vias existentes antes da intersecção (no caso das intersecções em cruz);
 - distâncias de visibilidade que assegurem a tomada de decisões;
 - assegure a consistência entre a percepção da intersecção e o controlo do tráfego;
 - assegure uniformidade no traçado dos seus elementos, como sejam: vias de viragem, separadores, ilhas, etc.
- as regras de prioridade e a concepção das intersecções estão intimamente ligadas, pelo que é fácil os condutores terem um comportamento correcto desde que a intersecção seja bem projectada, pois neste caso actuará sem necessidade de raciocinar.

Como é evidente, o projectista deve estudar a geometria da intersecção em função das características específicas do projecto. Constituem elementos imprescindíveis para a segurança da intersecção os seguintes elementos:

- ilhas separadoras nos ramos secundários;
- vias de desaceleração para as viragens à esquerda na estrada principal, integradas em separadores com largura suficiente (> 4,0 metros).

O estudo geométrico das intersecções, e da sinalização (vertical e horizontal), deve constar do anteprojecto.

Deve-se fazer sempre a justificação das soluções adoptadas nos projectos, as quais deverão ter sempre em consideração os parâmetros fundamentais que caracterizam esses projectos, e os condicionalismos locais.

Torna-se portanto necessário assegurar aos condutores a possibilidade de encontrarem em qualquer parte do país intersecções projectadas segundo os mesmos critérios. Assegurar essa uniformidade de critérios é a finalidade essencial das normas.

2

ELEMENTOS BÁSICOS NECESSÁRIOS PARA O PROJECTO

2.1. CLASSIFICAÇÃO DAS INTERSECÇÕES

As intersecções podem ser inicialmente classificadas em dois grandes grupos: intersecções de nível, quando as estradas que se interceptam possuem a mesma cota na área comum, e intersecções desniveladas, quando existem vias e/ou ramos da intersecção cruzando-se a cotas diferentes. As últimas não integram o presente estudo pelo que se dará atenção em especial às primeiras.

As intersecções de nível podem ainda ser classificadas em três subgrupos:

- cruzamento, quando uma via for cortada por outra mantendo ambas continuidade para jusante;
- entroncamento, quando uma via começa ou termina noutra;
- giratória: quando duas ou mais vias se encontram em um ponto e a solução escolhida baseia-se no uso de uma praça central de distribuição do tráfego. Também esta tipologia de intersecção está fora do âmbito do presente estudo.

Cada um dos subgrupos pode ter um grande número de soluções tipo. Não há projectos padrão para os diversos tipos de intersecções, porque para cada caso específico existe um grande número de factores que irão definir a solução mais adequada e consequentemente o melhor projecto.

Os ramos de um cruzamento não precisam ser necessariamente simétricos. Cada ramo deve ser projectado individualmente, em função das características locais, de forma a atender da melhor maneira possível o fim a que se destina.

2.2. MOVIMENTO DOS VEÍCULOS NAS INTERSECÇÕES

Os veículos que transitam numa intersecção seguem correntes de tráfego que podem juntar-se formando nova corrente, separar-se em duas ou cruzar-se entre si.

Numa intersecção prioritária existem quatro tipos básicos de conflitos rodoviários, designadamente, divergência, convergência, atravessamento e viragens.

2.2.1. MANOBRA DE CONVERGÊNCIA

Todo o local da intersecção onde duas ou mais correntes de tráfego distintas se juntam para formar uma nova corrente.

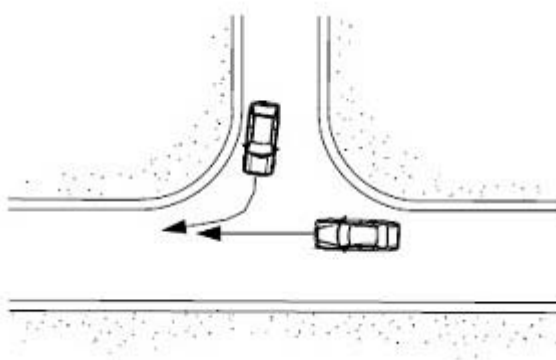


Figura 3 – Manobra de convergência (extracto dos apontamentos da disciplina de Circulação e Transportes I, FEUP, 2010, Portugal).

Quando uma corrente de tráfego atinge um ponto de convergência para entrar noutra corrente de grande volume, o condutor precisa de parar para encontrar um intervalo na corrente principal que permita a sua entrada em segurança na nova corrente de tráfego. Ocorrendo o intervalo na corrente de tráfego ele deverá acelerar o veículo a fim de atingir uma velocidade compatível com a velocidade da corrente onde vai entrar. Para que isso seja possível é necessário:

- que o condutor que sai da corrente secundária tenha perfeita visibilidade sobre os veículos que percorrem a corrente principal;
- poderá existir uma faixa adicional, de extensão suficiente, para que o motorista possa parar se necessário, ver o intervalo, acelerar e atingir a velocidade suficiente para entrar no intervalo sem prejudicar o escoamento da corrente principal. Esta via não é, no entanto, indispensável em todos os casos.

Na manobra de convergência os acidentes são do tipo frente-lateral ou lateral-lateral, sendo que a perigosidade do embate depende fortemente do ângulo de convergência e da velocidade a que circulam os veículos.

Deve assim o ordenamento geométrico e em particular a canalização dos movimentos procurar criar inserções com o menor ângulo possível.

2.2.2. MANOBRA DE VIRAGEM

É necessário ter em consideração a perigosidade deste tipo de manobra em viragens à esquerda a partir da estrada principal ou a partir da estrada secundária. Quando temos tráfego elevado a realizar este tipo de manobra, é importante a implantação de vias de desaceleração na estrada principal que permitam aos veículos que mudem de direcção, desacelerar e travar depois de abandonar a corrente principal, reduzindo a velocidade do veículo para uma velocidade compatível com as características geométricas do ramo onde vai entrar. Essa redução de velocidade, quando feita na corrente principal, obriga à redução da velocidade dos veículos que lhe sucedem, afectando a segurança e o escoamento normal do tráfego. Para que isso não aconteça é necessário que exista:

- sinalização, que indique claramente ao condutor o local de saída;

- condições de visibilidade, que permitam ao condutor a visualização das características do ramo onde vai entrar;
- faixa de tráfego adicional, que ofereça espaço suficiente para a desaceleração do veículo até atingir velocidade compatível com a do ramo onde vai entrar, podendo possibilitar a paragem e stockagem dos veículos, evitando afectar o tráfego da corrente principal. Não sendo apesar de tudo indispensável, garante níveis de segurança muito mais elevados.

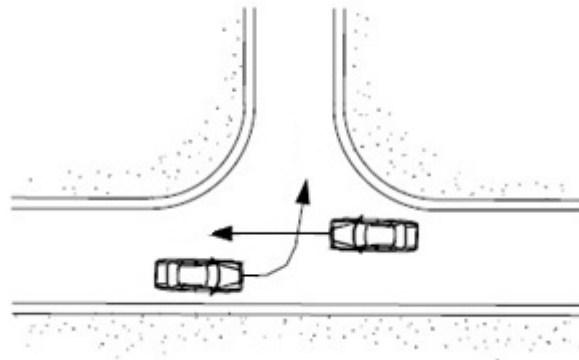


Figura 4 – Manobra de viragem (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

Este tipo de manobra envolve normalmente embates frente-lateral bastante perigosos, dependendo da velocidade de circulação dos veículos na intersecção e do ângulo de embate.

À semelhança das manobras de convergência, o condutor tem de avaliar os intervalos de tempo disponibilizados pela corrente de tráfego que quer atravessar e avançar quando considerar que o pode fazer em segurança.

2.2.3. MANOBRA DE DIVERGÊNCIA

Todo o local da intersecção onde uma determinada corrente de tráfego se separa formando novas correntes.

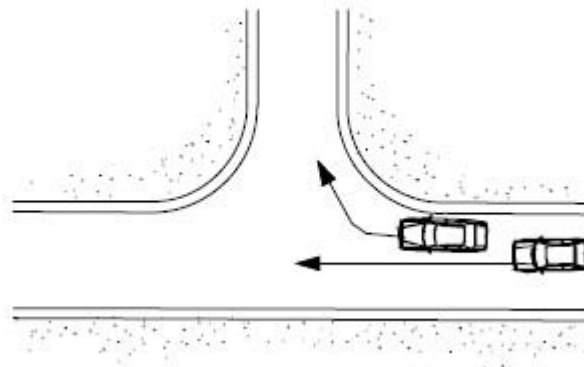


Figura 5 – Manobra de divergência (extracto dos apontamentos da disciplina de Circulação e Transportes I, FEUP, 2010, Portugal).

É considerada uma manobra simples e possui o menor grau de perigosidade em relação a todas as outras. O acidente mais comum na execução deste tipo de manobra envolve habitualmente embates frente-traseira, durante o período de desaceleração dos veículos que pretendem mudar de corrente de tráfego, sem que os outros se tenham disso apercebido.

Tal como nas manobras de viragem, podem ser consideradas vias de desaceleração, sendo aplicáveis aos movimentos de saída na mão para viragem à direita a partir da via principal, através da implantação de vias segregadas de desaceleração, paragem e stockagem se necessário.

2.2.4. MANOBRA DE ATRAVESSAMENTO

Realiza-se em intersecções de redes viárias, onde correntes de tráfego se cruzam entre si, é uma manobra característica das intersecções em “X”, sendo esta a manobra mais perigosa com embates do tipo frente-lateral habitualmente com ângulos próximos dos 90°.

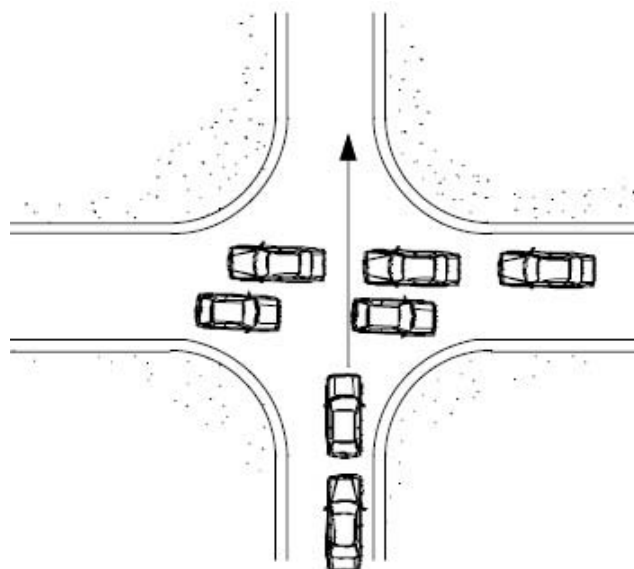


Figura 6 – Manobra de atravessamento (extracto dos apontamentos da disciplina de Circulação e Transportes I, FEUP, 2010, Portugal).

Tal como na manobra de convergência, também no atravessamento o condutor deve avaliar os intervalos de tempo disponibilizados pelas correntes principais e avançar quando considerar que o pode fazer em segurança. Contudo, o atravessamento conflitua com as várias correntes que pretendem atravessar pelo que o condutor terá de compatibilizar os intervalos disponibilizados por essas correntes, sendo a perigosidade da manobra tanto maior quando mais vias tiver que atravessar.

Em intersecções prioritárias, facilitar a manobra de atravessamento passa pela criação de separadores centrais na estrada prioritária com dimensões adequadas que permitam ao veículo não prioritário efectuar o atravessamento por fases. Se o fluxo de atravessamento for significativo, bem como o

número de vias a atravessar, as demoras podem tornar-se longas, devendo nestes casos, por razões de segurança e capacidade avaliar-se a adopção de soluções alternativas.

2.2.5. RECOMENDAÇÕES

As intersecções devem ser projectadas de forma a evitar ou reduzir pontos de conflito. Geralmente, as soluções que conseguem evitar pontos de conflito são soluções de alto custo exigindo a construção de passagens desniveladas, um maior número de ramos, ocupando áreas maiores. Soluções deste tipo só são justificáveis em cruzamentos ou entroncamentos de estradas de grande volume de tráfego onde as intersecções de alto custo são necessárias para garantir a segurança e o escoamento normal do tráfego. A maioria das intersecções ocorre em estradas sem grande volume de tráfego onde alguns pontos de conflito podem ser aceites, desde que devidamente sinalizados e localizados de forma a não comprometer o livre escoamento do tráfego e principalmente não comprometer a segurança dos veículos.

Em locais onde os pontos de conflito não podem ser evitados, de forma económica, são necessários cuidados especiais na segurança do tráfego. Nesses pontos é importante que existam boas condições de visibilidade para que os condutores que se aproximam tenham uma perfeita visão das correntes de tráfego que serão cruzadas, tendo tempo suficiente para parar se necessário.

Numa intersecção em “X” normalmente são gerados 32 pontos de conflito, estando incluídos pontos de convergência, divergência e intersecção, podendo ser reduzidos a 18 pontos de conflito no caso de divisão em dois entroncamentos, pois num entroncamento temos 9 pontos de conflito. Portanto, pode ser vantajoso para a segurança da intersecção a sua divisão em dois entroncamentos desalinhados (ver figura 7), quando os alinhamentos das estradas assim o permitirem. No tópico 4.2 (alinhamentos) é estudada a situação com maior rigor.

De realçar o aumento de pontos de conflito exponencial em relação ao aumento do número de vias por sentido e/ou o número de ramos. Por exemplo, no caso de uma intersecção com 5 ramos de sentido duplo com 2 vias por sentido, o número de pontos de conflito considerando apenas os resultantes das manobras de intersecção cresce para 50.

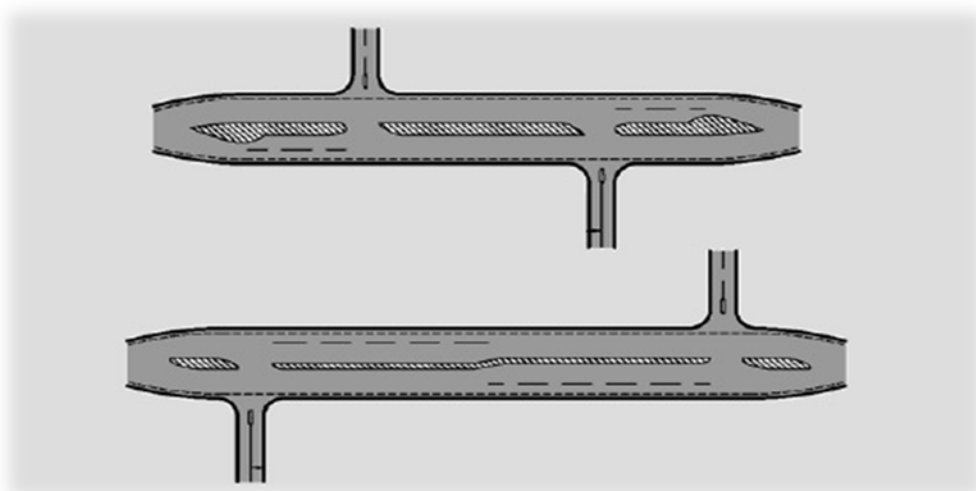


Figura 7 – Intersecção desalinhada (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).

Os principais factores que influenciam na escolha de uma solução são: capacidade de escoamento de tráfego, segurança e conforto das vias e da intersecção e custos das obras necessárias. Uma intersecção deve ser projectada de forma a não criar restrições ao escoamento do tráfego das vias que chegam até ela e, principalmente, não pode ter pontos de engarrafamento de tráfego. Por outro lado, as soluções "ideais" representam obras caras que envolvem custos de passagens desniveladas, movimentos de terra superiores, grandes áreas de expropriação, obras especiais de drenagem etc. Assim cada intersecção terá que ter um projecto específico que leve em consideração a capacidade de tráfego necessária, condições topográficas e geográficas locais e a segurança do tráfego, com um custo mínimo.

2.3. CONSIDERAÇÕES GERAIS DE PROJECTO

Tomando como base as necessidades locais e disponibilidade de recursos, devem-se estabelecer os objectivos que se pretende alcançar com o projecto da intersecção, geralmente relacionados com a capacidade, a segurança e os custos de implantação.

As intersecções constituem elementos de descontinuidade em qualquer rede viária e representam situações críticas que devem ser tratadas de forma especial. A intersecção deverá assegurar a circulação ordenada dos veículos e manter o nível de serviço da estrada, garantindo a segurança nas áreas onde as correntes de tráfego sofrem interferência de outras correntes.

Os elementos geométricos que constituem uma intersecção baseiam-se, em geral, nos mesmos princípios que governam o projecto geométrico de estrada corrente. Todavia, existem algumas diferenças importantes na forma como são conduzidos os veículos na aproximação as intersecções, permitindo assim a utilização de especificações menos exigentes do que nos trechos contínuos da estrada.

Em intersecções, os condutores aceitam maiores reduções de velocidade e toleram condições menos cómodas produzidas pelas forças laterais que actuam sobre o veículo e seus ocupantes, devido a viragens em curvas de raios menores que os adoptados em estrada corrente.

Ao longo do Capítulo 4 (Características geométricas das intersecções), são estabelecidos padrões desejáveis e mínimos aceitáveis, os quais, porém, não devem ser encarados com rigidez absoluta. Todos estes padrões têm o intuito de evitar valores incompatíveis com a qualidade pretendida na intersecção, embora se reconheça que padrões inferiores aos mínimos absolutos poderão ser necessários à luz das circunstâncias locais. Contudo, esta decisão, deve ser cuidadosamente ponderada no sentido de encontrar a solução óptima de compromisso entre as exigências de projecto e as restrições físicas, económicas e ambientais.

2.4. DADOS BÁSICOS PARA O PROJECTO

Na realização de um projecto de uma intersecção, é necessário o estudo de uma série de condicionantes, entre as quais os elementos de tráfego, topografia local, factores humanos, económicos e ambientais, veículo de projecto e a classificação funcional das estradas que se cruzam. A adopção de um tipo de intersecção dependerá principalmente da correlação existente entre a topografia do terreno, os volumes de tráfego e sua composição, a segurança e os custos de

implantação, operação e conservação. Todos estes dados estão ligados directamente aos elementos de projecto, como tal, deverão ser conhecidos antes da elaboração do mesmo.

Apresentam-se a seguir, todos os dados básicos a ter em conta na elaboração do projecto de uma intersecção.

2.4.1. CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL DAS ESTRADAS QUE SE INTERSECTAM

O primeiro factor a ser considerado é a classificação funcional das estradas que se interceptam já que o projecto deve ser coerente com as suas características funcionais. Para tal, é necessária a sua classificação numa determinada rede, o tipo de controlo dos acessos, velocidades específicas e prioridades de passagem.

Considerando a sua titularidade, as estradas são classificadas em nacionais, regionais e municipais. Quanto às estradas nacionais, e de acordo com o disposto no Decreto-lei 222/98, Plano Rodoviário de 2000, integram-se em duas redes:

- a) Rede Nacional Fundamental
- b) Rede Nacional Complementar

A Rede Nacional Fundamental é constituída pelos Itinerários Principais (IP), que são as vias de comunicação de maior interesse nacional, servindo de apoio a toda a rede de estradas nacionais, as quais asseguram a ligação entre os centros urbanos com influência supra-distrital e destes com os principais portos, aeroportos e fronteiras. Nos Itinerários Principais não é permitida a circulação de peões, velocípedes e veículos de tracção animal (Artigo 3º do PRN 2000), o que deverá ser devidamente sinalizado.

A Rede Nacional Complementar é constituída pelas estradas que asseguram a ligação entre a Rede Nacional Fundamental e os centros urbanos de influência concelhia ou supra-concelhia, mas infra-distrital. Integram-se na Rede Nacional Complementar os Itinerários Complementares (IC) e as Estradas Nacionais (EN).



Figura 8 – Marco quilométrico da Estrada Nacional 369 (Fotografia tirada pelo autor para este trabalho).

Serão ainda de considerar as Estradas Regionais que funcionam com um nível intermédio entre as Estradas Nacionais e as Municipais. Estas estradas são criadas a partir da reclassificação das antigas Estradas Nacionais e ficam a cargo dos municípios que as aceitem. Isto acontece porque em Portugal continental ainda não há regiões, que seriam as tutoras destas estradas, como acontece nas regiões autónomas do arquipélago dos Açores e da Madeira.

Apresenta-se na Figura 9 a classificação funcional das intersecções, dependendo esta das características funcionais da rede, bem como das características geométricas e físicas das estradas que as constituem. Há a referir que esta classificação tem apenas um carácter informativo, não se devendo considerar como rígida.

Para este caso de estudo, só serão de considerar intersecções nas estradas da rede complementar, entre si e com estradas regionais e municipais, exceptuando-se as intersecções dos Itinerários Complementares que serão sempre do tipo desnivelado.

No Quadro 1, são apresentados os tipos de intersecções a empregar mediante a sua classificação funcional.

Quadro 1 – Tipo de intersecção consoante a sua classificação funcional (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).

TIPO DE INTERSECÇÃO	CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL DAS INTERSECÇÕES													
	11	12	13	14	22	23*	24*	25*	33*	34*	35*	44	45	55
Intersecção de nível	-	-	-	-	-	X (a)	X (a)	X (a)	X	X	X	X	X	X
Intersecção desnivelada	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-

(a) Opta-se por uma intersecção de nível, quando o tráfego médio diário na estrada secundária for inferior a 1000 veículos no ano horizonte.

* Intersecções de nível em estudo neste trabalho.

A ausência de intersecções da classe 15 no Quadro 1 deve-se ao facto de se dever evitar que um Itinerário Principal ligue a uma Estrada Municipal, porque compromete, sobretudo, a mobilidade, que devem estar sempre inerentes em ligações com itinerários principais. Porém, na realidade existem muitas intersecções desta classe, devendo-se ao facto de em determinadas zonas do país, onde se pretenda fazer uma ligação, não existam estradas com classificações mais elevadas do que municipal. Refere-se mais uma vez, o carácter informativo destas soluções.

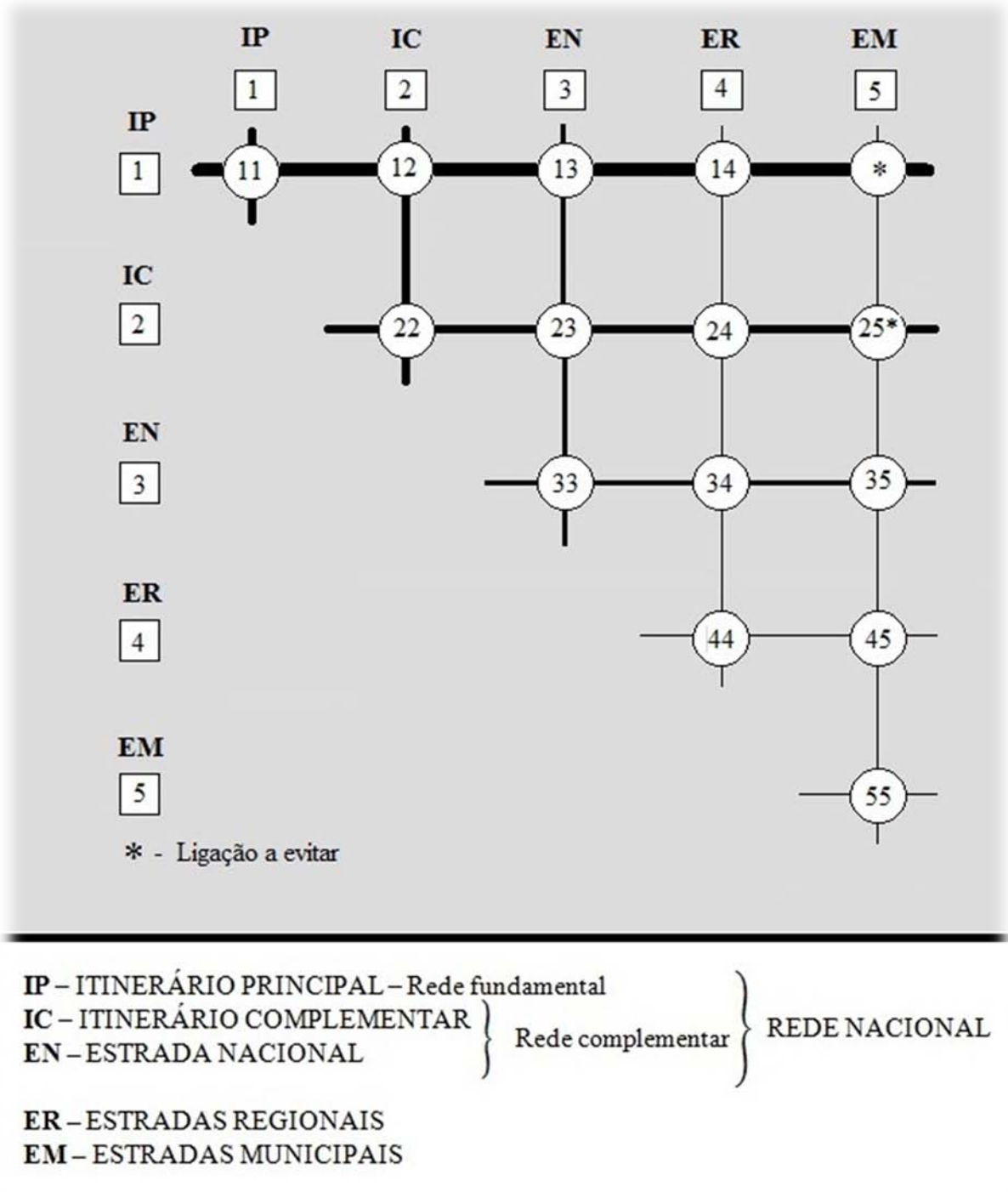


Figura 9 – Classificação funcional das intersecções (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

2.4.2. DADOS DE TRÁFEGO

No caso de uma reabilitação de uma intersecção deve-se começar por registar as intensidades de tráfego consoante a tipologia dos veículos, em cada uma das estradas que se interceptam, decompondo estes nos vários movimentos de viragem. É importante também atender as horas de ponta e as características específicas de cada intersecção.

No caso de intersecções novas, deve-se elaborar uma matriz origem-destino através de estudos aprofundados de tráfego que envolvem algoritmos e modelos de previsão.

Estes dados devem referir-se à situação actual e ao ano horizonte que se estima em 20 ou 30 anos. É necessário estudar também os movimentos dos peões, pois estes interferem nas características das intersecções, portanto à que atender aos movimentos actuais e futuros.

Para a determinação e avaliação da importância dos conflitos entre os vários movimentos numa intersecção, são necessários os diagramas de tráfego médio diário anual e os volumes horários de projecto. Os diagramas de tráfego são referentes ao ano horizonte, sendo calculados a partir dos volumes previstos com um factor de crescimento estimado para o ano horizonte. Neles devem estar bem discriminados os sentidos e movimentos de tráfego, as unidades adoptadas (veículos ligeiros equivalentes) e os volumes por unidade de tempo (ver figura 10). O volume horário de projecto será expresso, de preferência, em unidades de veículos ligeiros por hora (veic./h).

A capacidade de uma intersecção é função de um grande número de variáveis. Atendendo à precisão com que essas variáveis podem ser obtidas para o ano horizonte, a capacidade deve ser estimada com emprego de metodologia confiável. O Highway Capacity Manual (HCM) é o documento técnico mais consagrado para esse fim e o adoptado em Portugal na determinação dos níveis de serviço de uma intersecção de nível (ver anexo A).

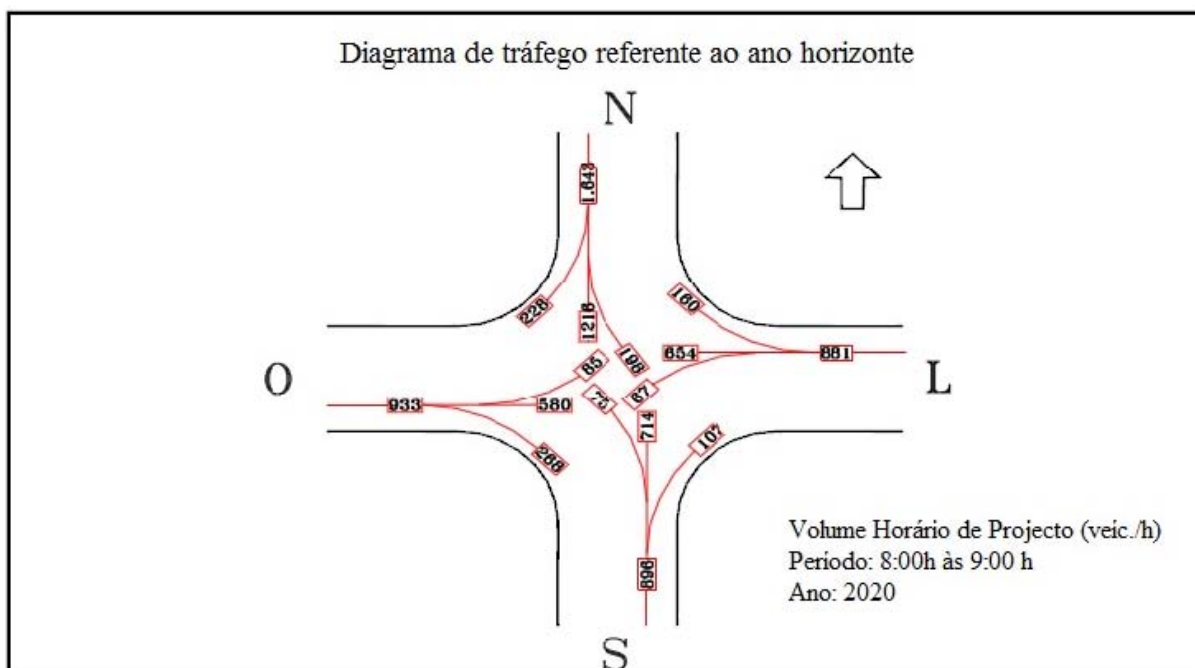


Figura 10 – Diagrama de tráfego referente ao ano horizonte (extractos do “Manual de estudos de tráfego” do DNIT, 2006, Brasil).

Depois disto devem-se determinar as velocidades específicas de circulação para cada uma das estradas da intersecção, pois estas são necessárias para avaliar as exigências de distância de visibilidade e a velocidade de circulação na intersecção que definirá o desenho do traçado das intersecções.

No caso de melhoria de intersecções existentes, são de grande importância os relatórios de acidentes contendo registos completos e análises das suas causas. Na ausência desses relatórios, o estudo deverá ser precedido duma pesquisa das condições operacionais da intersecção, para a determinação das causas dos acidentes.

Quanto há instalação de dispositivos de controlo de tráfego, que condicionam a canalização do tráfego, devem ser definidos antes de se elaborar o projecto da intersecção.

2.4.3. TOPOGRAFIA E MEIO AMBIENTE

A localização e o traçado de uma intersecção são afectados por muitos outros factores. Inclui-se aqui a topografia do local, o alinhamento e o número de vias de acesso, a necessidade de espaço para a drenagem, interferência de serviços de utilidade pública, acessos à propriedade privada e a presença de características locais realizadas pelo homem ou naturais. Porém, é necessário atender as prioridades, pois raramente é possível satisfazer todas as exigências.

A representação, em escala conveniente, da topografia da área afectada pelo projecto é essencial para a sua elaboração. Esses dados serão obtidos mediante aerofotogrametria ou levantamento topográfico clássico. Para uma análise conveniente da situação é normalmente utilizada uma escala 1:500, podendo utilizar-se em zona urbana 1:200 para uma melhor percepção das características locais. A planta do local deve incluir todos os condicionamentos físicos existentes que possam afectar o projecto. São também essenciais os perfis longitudinais das estradas que convergem na intersecção e as plantas das mesmas, determinando assim as distâncias de visibilidade existentes no local.

2.4.4. CONSIDERAÇÕES ECONÓMICAS

Outro aspecto importante é o factor económico, representado pelo custo de implantação da intersecção (expropriações e construção), custo de operação e custo de manutenção.

A insuficiência da faixa de domínio disponível, o alto custo das expropriações e construção, implicam por vezes severas restrições à implantação de uma intersecção. As várias alternativas tecnicamente viáveis da intersecção deverão ter em conta estes factores.

O custo estimado da construção de novas intersecções ou de rearranjo de intersecções existentes devem ser justificados pelos benefícios proporcionais ao tráfego. São avaliados os benefícios para o tráfego em termos de atraso, segurança e estimados custos operacionais, sendo feitas comparações económicas entre as várias soluções. É necessário ter em conta que grandes reconstruções de intersecções com o intuito de estender a vida útil por alguns anos podem não valer a pena, pois implica custos de aquisição e distúrbios nos serviços públicos, podendo ser evitados por pequenos ajustes durante o projecto.

2.4.5. FACTORES HUMANOS

No projecto de intersecções devem ser consideradas as seguintes características dos condutores:

- tendem a agir de acordo com o hábito;
- tendem a seguir o percurso “natural” nos caminhos de circulação;
- tornam-se confusos quando surpreendidos.

Factores imprescindíveis para um condutor são:

- tomar conhecimento da presença de uma intersecção;
- estar ciente dos veículos que estão na intersecção e dos que se aproximam;
- escolher bem o trajecto para fazer a intersecção correctamente e em segurança;
- encontrar uniformidade na aplicação dos dispositivos de engenharia de tráfego.

2.4.6. ESCOLHA DO TIPO DE VEÍCULO

É condição fundamental para o traçado de uma intersecção a definição do tipo de veículo com as características mais desvantajosas que a vai utilizar, assim como o conhecimento das suas possibilidades de manobra. Os veículos são normalmente classificados em três tipos:

- veículos ligeiros (L);
- camiões (C);
- veículos articulados (VA).

Na definição do projecto, é necessário ter em conta as dimensões e a capacidade de manobra do veículo tipo, bem como, a força de tracção, força de frenagem, ângulos de visão, distância de visibilidade, o peso do veículo e a aderência dos pneumáticos.

As normas portuguesas referem que o veículo articulado tipo deve conseguir inserir-se na coroa circular entre dois círculos com o mesmo centro e raios de 5,44 metros e 12,50 metros, como representado na Figura 11.

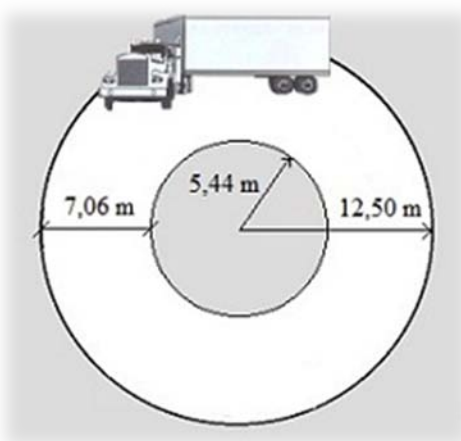


Figura 11 – Coroa circular imposta pelas normas portuguesas (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

Traçado para veículos ligeiros, L

Pode ser usado em intersecções pouco importantes onde o espaço é muito limitado em vias urbanas, por considerações do valor de expropriação avultada e da impossibilidade de ocupar espaço extra (edifícios, etc.), nas intersecções de estradas locais com outras estradas de maior importância, onde os

movimentos de viragem são muito raros, e nas intersecções de estradas locais com baixa intensidade de tráfego. Neste caso deve haver sinalização que proíba a passagem de veículos pesados a montante da estrada. Porém, é desejável projectar a intersecção com o tipo de veículo C sempre que as condições de espaço, economia, etc., sejam satisfeitas.

Traçado para camiões, C

É recomendado para todas as intersecções não urbanas, excepto os casos descritos acima. Quando os movimentos de viragem são particularmente importantes e têm uma percentagem grande de camiões nas correntes de tráfego. Devem ser projectadas trajetórias com grandes amplitudes. Em áreas urbanas, deve-se projectar de igual forma em intersecções onde circulam ou podem vir a circular veículos de transporte público.

Traçado para veículos articulados, VA

Deve ser escolhido nas intersecções onde há uma percentagem significativa de veículos articulados ou pesados com reboque em movimentos circulares.

Em Portugal as normas de intersecções de estradas nacionais consideram um veículo tipo que será sempre o veículo articulado da classe H17 da JAE. As dimensões máximas do conjunto tractor mais reboque são apresentadas na Figura 12.

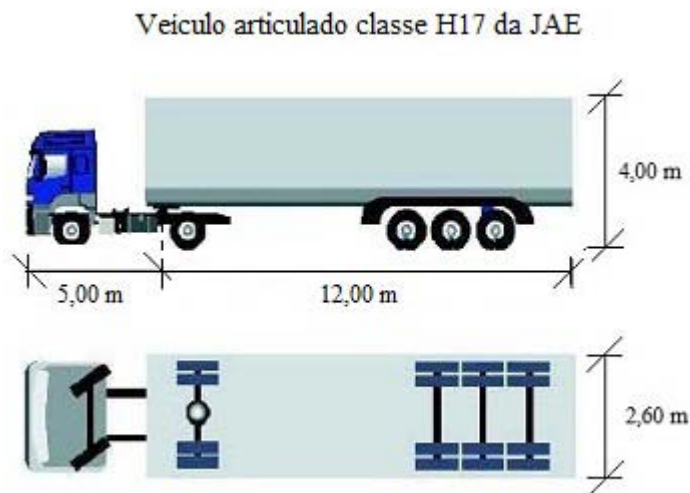


Figura 12 - Dimensões do veículo articulado classe H17 da JAE (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

2.4.7. VELOCIDADE

No meio da Engenharia Civil, na especialidade de Transportes, responsável pela execução deste tipo de projecto, pela construção e pela manutenção de estradas, está estabelecido, desde há muitos anos, com base na investigação científica do comportamento do condutor e, especialmente, nas características automáticas do seu comportamento pericial dominante que, a velocidade adoptada pelos condutores depende, principalmente, das características da estrada tais como, do raio da curva em planta, da largura da faixa de rodagem, do número de vias em cada sentido, da inclinação longitudinal da estrada, da largura da berma, da extensão das rectas, etc. Todas estas variáveis principais são escolhidas ou alteradas pelos engenheiros na fase de concepção ou de intervenção na estrada.

Portanto, a velocidade é parâmetro fundamental para a escolha e controlo dos elementos geométricos do traçado de uma intersecção, pois permite que os valores fixados para esses elementos conduzam a uma circulação cómoda e segura. Assim, esses elementos geométricos têm máximos e mínimos fixados em função da velocidade.

Na definição das características geométricas de uma estrada há que considerar não só a velocidade base mas também as velocidade específica ou de tráfego.

Velocidade base ou de projecto, é a velocidade máxima que deve ser assegurada ao longo do traçado. Isto é, deve manter-se constante ao longo de toda a estrada para que as características geométricas mínimas se apresentem coerentes aos condutores. Poder-se-á dizer então que a velocidade base é aquela que permite definir as características geométricas dos pontos particulares do traçado, isto é, aquelas que as condições do terreno não permitem economicamente adoptar características geométricas superiores. Depende, da topografia do terreno, dos volumes de tráfego esperados, do investimento desejado e da função da nova via.

Velocidade específica, é a velocidade máxima que pode ser obtida com segurança em qualquer ponto do traçado, considerado isoladamente. Ao contrário da velocidade base que deve ser a mesma para cada secção de estrada a construir, a velocidade específica vai variando ao longo do traçado conforme as características geométricas dos elementos singulares que o condutor irá encontrando.

A velocidade específica deverá ser considerada no dimensionamento de elementos geométricos cujas características dependem da visibilidade. Segundo as Normas do Traçado não seria prático, considerar a velocidade específica correspondente a cada elemento ao definirem-se as características geométricas do traçado de uma estrada, pelo que se considera normalmente como representativa da velocidade específica, a velocidade do tráfego, ou seja a velocidade que é excedida somente por 15% dos veículos.

Velocidade de Tráfego - No leque variado de velocidades induzidas nos condutores, a segurança deve estar garantida para, pelo menos, 85% dos condutores, admitindo-se que, no máximo, 15% deles circulam acima e fora das condições de segurança. Este é o conceito aceite em Portugal e na generalidade dos países para a velocidade de tráfego.

Deve ser definida de acordo com as características geométricas cujas características dependem da visibilidade.

Entende-se que não é economicamente viável proporcionar a todos os condutores as condições de segurança necessárias à velocidade a que eles pretendem circular. *"Socialmente é, assim, aceite ignorar a pretensão de 15% dos condutores, tanto mais que habitualmente é sobre este último*

subconjunto de condutores que as acções de fiscalização do acatamento dos limites legais de velocidade costumam incidir." Cardoso (1).

A velocidade do tráfego é cerca de 12 km/h a 20 km/h superior à velocidade base e as suas diferenças diminuem consoante o aumento da velocidade, havendo maiores diferenças nos alinhamentos rectos que nas curvas.

Hoje em dia sabe-se que existe um défice de cálculo da Norma de Traçado P3/94 portuguesa, publicada em 1994 que, por omissão, não determina o cálculo correcto das Velocidades de Tráfego. Apenas apresenta uma estimativa fixa que subavalia perigosamente as reais velocidades de tráfego, tendo sido já calculados os seus limites efectivos por estudos realizados em diversos países. Contudo, neste trabalho continuarão a utilizar-se os valores preconizados pela norma.

Nas normas nacionais não é evidente o tipo de velocidades a utilizar mediante a importância da estrada em questão. Contudo é considerado no dimensionamento de intersecções, a utilização da velocidade de tráfego para IP's e IC's e da velocidade base para EN's e outras com classificação inferior. Fazem-se ao longo deste trabalho vários reparos sobre as velocidades a utilizar no dimensionamento de elementos concretos nas intersecções.

Quadro 2 – Velocidades de base e de tráfego praticadas em estradas nacionais (quadro elaborado pela norma JAE P3-94).

Velocidade base (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	120	140
Velocidade de tráfego (km/h)	60	70	80	90	100	110	120	130	140

Os raios das concordâncias verticais, principalmente as concordâncias convexas, são condicionados, sobretudo, pelas condições de visibilidade, sendo estas sempre calculadas em função da velocidade de tráfego. Portanto, as condições de visibilidade impostas vêm sempre em função da velocidade de tráfego, pois há que garantir sempre a homogeneidade do traçado, evitando surpreender os condutores. A norma JAE P5/90 considera o uso da velocidade de tráfego no caso de IP's e IC's, e o da velocidade base para o caso de EN no cálculo da distância de visibilidade de paragem e do triângulo mínimo de visibilidade, não garantido a coerência do traçado. Neste trabalho considera-se sempre que a visibilidade vem em função da velocidade de tráfego.

2.4.8. ZONAS DE PROTECÇÃO (NOM AEDIFICANDI)

É necessário no projecto das intersecções definir uma zona de protecção (non aedificandi), no sentido de assegurar a sua eventual remodelação ou evoluir para nó de ligação.

3

TIPOLOGIA DAS INTERSECÇÕES

3.1. INTERSECÇÕES EM ENTRONCAMENTOS E CRUZAMENTOS

A intersecção em T tem apenas 3 ramos afluentes, em que, regra geral, a estrada secundária não apresenta continuação.

Normalmente envolve os seguintes movimentos:

- 2 movimentos de atravessamento correspondentes à via que não perde continuidade;
- 2 movimentos de viragem à direita;
- 2 movimentos de viragem à esquerda.

Estes movimentos geram nove pontos de conflito:

- 3 intersecções em viragens à esquerda;
- 3 divergências;
- 3 convergências.

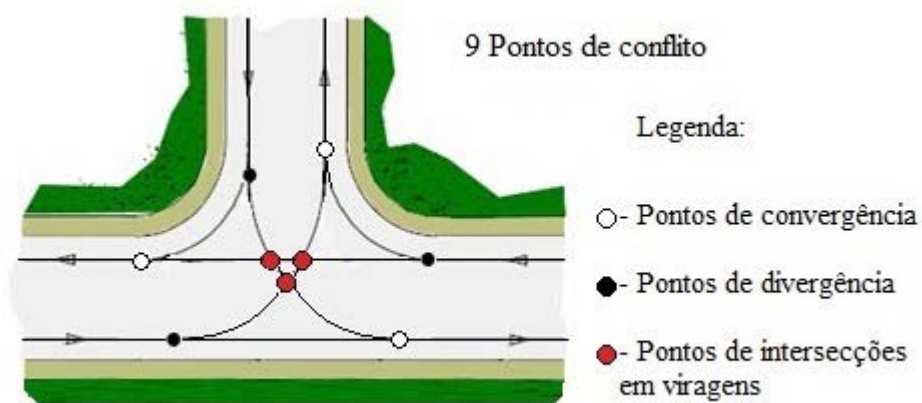


Figura 13 – Intersecção em T com os respectivos pontos de conflito (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

As intersecções em X constituem um caso mais complexo, dado que cada um dos acessos pode proporcionar três movimentos:

- 1 movimento de atravessamento dos veículos que seguem em frente;
- 1 movimento de viragem à direita;
- 1 movimento de viragem à esquerda.

Estes 12 movimentos vão gerar 32 pontos de conflito:

- 4 atravessamentos nas intersecções dos movimentos em frente;
- 12 intersecções em viragens à esquerda entre si ou entre cada uma e os atravessamentos em frente;
- 8 divergências;
- 8 convergências.

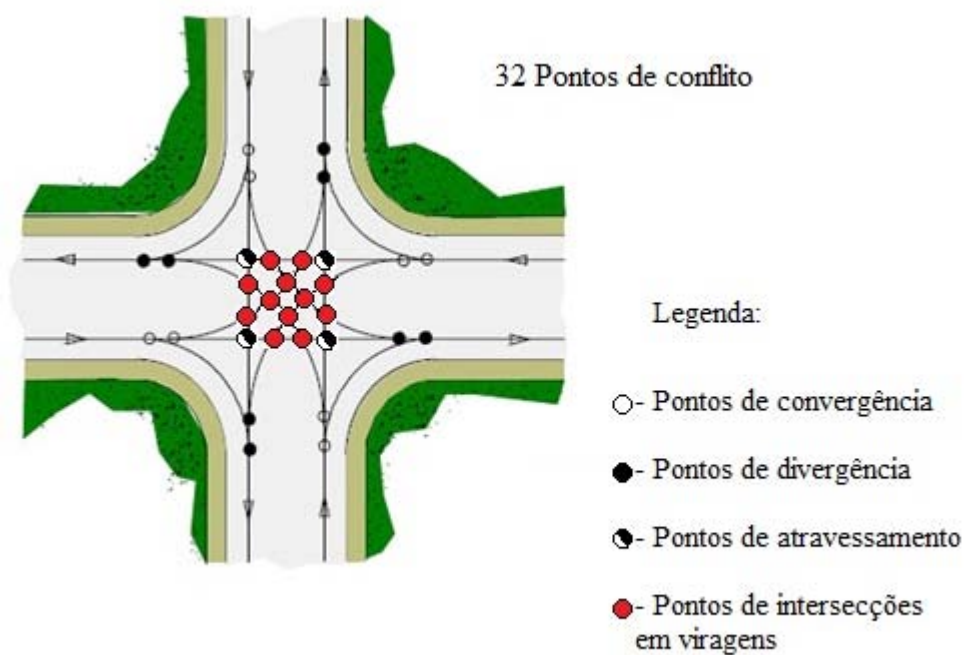


Figura 14 - Intersecção em X com os respectivos pontos de conflito (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

3.2. INTERSECÇÕES PRIORITÁRIAS E COM PRIORIDADE À DIREITA

3.2.1. INTERSECÇÕES PRIORITÁRIAS

Designa-se por intersecção prioritária, uma intersecção de nível, caracterizada pela atribuição, através de sinalização adequada, de diferentes níveis de prioridade a diferentes movimentos de tráfego. Alguns movimentos direccionais são assim obrigados a ceder a prioridade de passagem a outros movimentos considerados prioritários, através da imposição do sinal de STOP (sinal do tipo B2 do Código da Estrada "paragem obrigatória em intersecções ou entroncamentos") ou do sinal de perda de prioridade (sinal do tipo B1 do código da Estrada "cedência de passagem").

Nas suas formas mais vulgares, encontram-se as intersecções em X, caracterizados pela intersecção de duas vias, onde dois dos ramos (referentes à via secundária) perdem a prioridade em relação à via prioritária e, nos entroncamentos (intersecções em T), onde, em geral, o ramo com continuidade tem prioridade sobre o ramo interrompido.

Existem diferentes subtipos de cruzamentos prioritários, que apresentando os mesmos princípios de regulação, se diferenciam pelo grau de canalização e segregação dos diferentes movimentos direccionais, apresentando potenciais de desempenho bastante diferentes.



Figura 15 – Intersecções prioritárias com diferentes graus de canalização (fotografia tirada pelo autor para este trabalho).

Este tipo de soluções justifica o seguinte conjunto de referências relativamente às suas características fundamentais e potencial de desempenho:

- a) são soluções simples de implementar e baratas, embora o seu custo tenda a crescer significativamente no caso das soluções mais complexas com significativos graus de canalização e segregação do tráfego;
- b) apresentam níveis médios/baixos de capacidade, sendo que as técnicas de canalização e segregação dos movimentos permitem maximizá-la;
- c) mesmo quando bem projectados, apresentam, em média, níveis de segurança inferiores aos das tipologias alternativas, embora os subtipos com canalização de tráfego, mais sofisticados, permitam melhores resultados.

Em resultado das características e potencial enunciados, este tipo de cruzamentos apresenta como campo potencial de aplicação eficiente a utilização em cruzamentos com níveis moderados de tráfego onde, devido à geometria ou ao tráfego, existe uma dominância de um dos eixos que a ele acedem (ver Figura 19).

Para caracterizar o serviço que a intersecção oferece aos utentes usa-se o conceito de Nível de Serviço proposto pelo HCM2000, sendo este avaliado pelo atraso médio por veículo não prioritário.

No modelo subjacente à metodologia descrita no HCM 2000, considera-se que o intervalo crítico é constante, representando o valor médio dos condutores, enquanto o intervalo de tempo entre veículos sucessivos é definido por uma variável aleatória contínua com distribuição exponencial negativa.

3.2.2. INTERSECÇÕES COM PRIORIDADE À DIREITA

Numa intersecção sem qualquer sinalização reguladora assume-se que as prioridades relativas entre as diferentes correntes de tráfego são definidas pela lei base em vigor, nomeadamente, pelos artigos 29, 30 e 69 do Código da Estrada, que se baseiam no princípio de que se dois condutores se aproximam em simultâneo a uma intersecção, tem prioridade de passagem aquele que se apresenta pela direita.

Este sistema de prioridades gerido pela regra de prioridade à direita está na base de uma série de problemas intrínsecos, particularmente relacionados com a interpretação da regra perante determinadas situações específicas. O desempenho geral deste tipo de intersecções depende claramente dos níveis e características da procura, sendo habitual atribuir-lhes algumas deficiências de funcionamento relacionadas nomeadamente com a sua incapacidade de resolver todo o tipo de conflitos gerados na intersecção e dificuldades de interpretação perante situações específicas, justificadas por, em certos casos, esta regra contrariar as naturais expectativas do condutor. Assim e desde que as condições locais, as características geométricas ou os fluxos afluentes o justifiquem, estas regras podem ser sobrepostas pela imposição de um sistema de prioridades, consubstanciado pela implantação de sinais de "STOP" ou de "Aproximação de Estrada com Prioridade", que é o sistema implementado em estradas nacionais e o caso de estudo neste trabalho.

Apresentam-se na Figura 16 duas situações de impasse, onde a regra peca por não definir qual o veículo com prioridade de passagem e cuja resolução passa pela adopção de comportamentos "cordiais", sendo que um dos condutores terá de tomar a iniciativa de avançar, adoptando-se a partir daí o princípio de prioridade à direita.



Figura 16 – Situações de “impasse” em intersecções em T e em X conflito (extracto dos apontamentos da disciplina de Circulação e Transportes I, FEUP, 2010, Portugal).

A geometria da intersecção poderá inculir no condutor a sensação de prioridade de passagem erradamente. Na Figura 17 representam-se duas situações que poderão contrariar as expectativas do condutor, são elas:

- a continuidade do trajecto num entroncamento;
- a largura do perfil transversal da via.

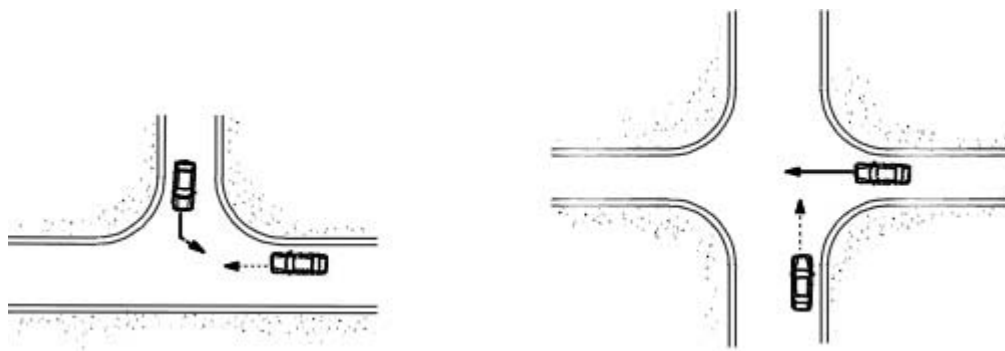


Figura 17 – Situações que contrariam as expectativas do condutor (extracto dos apontamentos da disciplina de Circulação e Transportes I, FEUP, 2010, Portugal).

Do que foi dito, resulta que as intersecções regidas pela regra de prioridade à direita são soluções caracterizadas por um funcionamento complexo e por níveis de desempenho bastante limitados quer em termos de capacidade real quer de segurança, pelo que numa lógica de aplicação integrada, a sua implantação deve ser limitada a locais onde a procura de tráfego seja reduzida.

Adequam-se assim em intersecções entre vias de acesso local, particularmente em zonas residenciais onde as velocidades praticadas são reduzidas e os níveis de procura pouco significativos. Em zonas rurais, onde as vias intersectadas não evidenciem a existência de uma clara dominância de fluxos, este tipo de intersecção poderá igualmente garantir bons níveis de serviço, com recurso a reduzidos custos de investimento.

3.3. INTERSECÇÕES COM SINAIS LUMINOSOS

Apesar da sinalização luminosa não ser permitida em Estradas Nacionais, a sua aplicação nas mesmas é prática comum, justificando-se para tal, a futura desclassificação de algumas estradas nacionais para estrada municipal. Porém, os processos de desclassificação têm se tornado bastante morosas, motivados por conflitos de interesses entre as entidades tutoras. Justifica-se então fazer breves considerações sobre este tipo de intersecções neste trabalho.

As soluções semaforizadas caracterizam-se pela atribuição em diferentes períodos de tempo e através de sinalização luminosa, de direito absoluto ou parcial de entrada aos diferentes movimentos direccionais de tráfego que têm trajectos conflituantes. A separação dos pontos de conflito no tempo, é assim conseguida recorrendo a sistemas semaforizados que atribuem diferentes autorizações de passagem aos movimentos que conflituam entre si. A regulação da prioridade é assim feita com recurso a um sistema de sinais luminosos (semáforos).



Figura 18 – Cruzamento com sinais luminosos na estrada IC2 (imagem tirada pelo autor para este trabalho).

Este tipo de soluções justifica o seguinte conjunto de referências relativamente às suas características fundamentais e potencial de desempenho:

- a) são soluções de custo de investimento e espaço ocupado moderados, a este último nível menos exigente do que a solução tipo rotunda, mas com maiores exigências e, eventualmente, custos de manutenção e exploração, bem como de "know-how", do que as restantes tipologias de nível;
- b) este tipo de solução apresenta também potencialidades para gerar níveis elevados de capacidade, globalmente semelhantes às atingíveis pelas rotundas, embora acomode menos bem níveis significativos de viragens à esquerda e muito dificilmente acomodará inversões de marcha;
- c) trata-se ainda de um tipo de solução bastante flexível e "activa" uma vez que permite atribuir qualquer correlação de prioridades relativas entre os diferentes movimentos do cruzamento facilitando ainda a alteração desta correlação em tempo real de modo a que em cada momento tenda a ser a mais adequada às condições da procura e da lógica de funcionamento pretendida para a rede. Pode assim funcionar tanto de forma "igualitária" como "hierarquizada". Tenderá a ser uma solução mais eficaz que a rotunda quando os níveis de tráfego forem bastante desequilibrados;
- d) é a única tipologia que possui uma capacidade de coordenação entre cruzamentos;
- e) são soluções que do ponto de vista da segurança rodoviária, são bastante eficientes;
- f) é a tipologia que acomoda com a maior qualidade as necessidades dos peões, embora em muitos casos à custa de significativas reduções nos níveis globais de capacidade.

Note-se, no entanto, que em zona rural e em caso de avaria o tempo de detecção e de conserto são usualmente muito demorados.

3.4. GRAU DE CANALIZAÇÃO DAS INTERSECÇÕES PRIORITÁRIAS

3.4.1. GENERALIDADES

As intersecções diferem dos trechos contínuos rodoviários por resultarem em situações em que os veículos se deslocam em direcções e sentidos opostos e conflituantes, tendo que utilizar o mesmo espaço disponível.

O projecto de intersecções deve começar com os mesmos objectivos básicos como qualquer projecto rodoviário, a saber:

- o projecto e o sistema de controlo de tráfego devem otimizar a qualidade da circulação do tráfego na intersecção;
- a intersecção deve ser projectada tendo em conta a minimização da sinistralidade.

A qualidade da operação refere-se à segurança, nível de serviço, conforto e facilidade de manobra. Pretende-se um projecto que garanta transposição da intersecção sem dificuldade, no mínimo espaço de tempo e com segurança para condutores não familiarizados com o local.

Como já foi dito em 3.2.1, as intersecções prioritárias são eficientes apenas para volumes moderados de procura, dependendo essa eficiência do tipo de canalização da intersecção. A Figura 19 define os domínios de aplicação de cada tipo de solução em função dos volumes de tráfego na estrada secundária e prioritária, resultantes de uma análise ponderada das demoras geométricas, do tempo de espera e dos fluxos direccionais, para as condições de circulação inglesas.

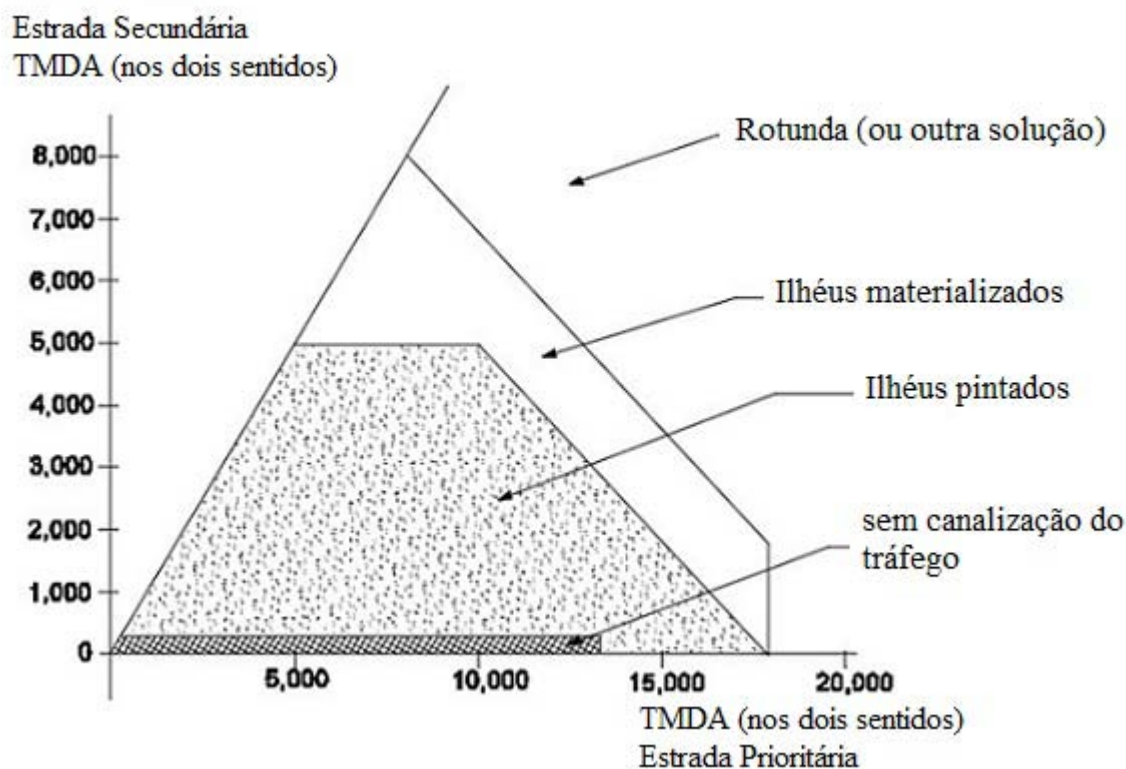


Figura 19 – Aplicabilidade dos tipos de intersecções prioritárias (extractos da norma inglesa TD 42/95).

3.4.2. INTERSECÇÕES SEM CANALIZAÇÃO DO TRÁFEGO

Correspondem a intersecções entre duas estradas com duas vias (uma em cada sentido), sem canalização dos movimentos, ou seja, onde não existe qualquer separador nem ilhéus demarcados ou fisicamente materializados. O tratamento mínimo a dar a uma intersecção deste tipo é a pavimentação de toda a área correspondente à mesma.

Este tipo de intersecção é o mais simples de todos, não sendo de considerar em estradas nacionais, que é o universo deste trabalho. Fazem-se porém algumas considerações sobre as mesmas visto que as normas nacionais são muitas vezes adaptadas em vias municipais.

Uma intersecção sem canalização caracteriza-se pela geração de uma grande área de conflito, balizada normalmente pela delimitação das bermas, pois é feita toda a pavimentação da intersecção, surgindo assim várias trajectórias possíveis.

Em termos geométricos são soluções idênticas às dos cruzamentos com prioridade à direita, resultando apenas da concordância os limites das faixas e bermas.

No caso de intersecções oblíquas é normalmente conveniente considerar uma ilha na zona do ângulo agudo a fim de se reduzir a área pavimentada e facilitar a instalação de um sinal "STOP", assim como da sinalização direccional.

Pelas condições de circulação que lhe estão associadas, apenas devem ser adoptadas em intersecções com pequenos fluxos de circulação, nomeadamente em zonas residenciais ou rurais onde o TMDA da estrada secundária seja inferior a 300 veículos/dia nos dois sentidos de circulação para intersecções novas, ou 500 veículos/dia em intersecções existentes.



Figura 20 – Cruzamento na estrada N13 sem canalização de tráfego (imagem de satélite extraída do Google Earth para este trabalho).

3.4.3. INTERSECÇÕES COM CANALIZAÇÃO DO TRÁFEGO

3.4.3.1. CONDIÇÕES GERAIS

Na presença de maiores níveis de procura de tráfego ou de elevados índices de sinistralidade, a necessidade de condicionar o comportamento dos condutores e consequentemente reduzir as áreas de conflito no interior das intersecções, conduziu à procura de formas de canalizar os diferentes movimentos direccionais, separando-os no espaço.

A segurança numa intersecção rodoviária é factor primordial no dimensionamento da mesma, no caso de remodelação de uma intersecção a análise dos acidentes verificados anteriormente é um elemento valioso para a definição do tipo de canalização necessária, entram também no dimensionamento as condições de operacionalidade, garantia de níveis de capacidade adequados e a minimização das demoras em intersecções.

A garantia das condições de segurança obtém-se, conforme as Austroads, 1988, prevendo:

- redução do número de pontos de conflito;
- minimização da área de conflito;
- separação física dos pontos de conflito;
- moderação das velocidades;
- definição das trajectórias a serem adoptados pelos condutores.

A redução do número de pontos de conflito passa normalmente por procurar proibir alguns movimentos direccionais o que pode ser conseguido pela simples canalização dos movimentos.

Surgem assim formas geométricas como ilhéus e separadores centrais que permitem facilitar o entendimento da intersecção e orientar de uma forma clara e intuitiva o condutor sobre a posição de paragem e as trajectórias a adoptar em função do destino pretendido. Este tipo de intersecção garante melhores níveis de serviço e sobretudo menores índices de sinistralidade, atingindo outro nível de aplicação e alargando o domínio de aplicabilidade das intersecções prioritárias.

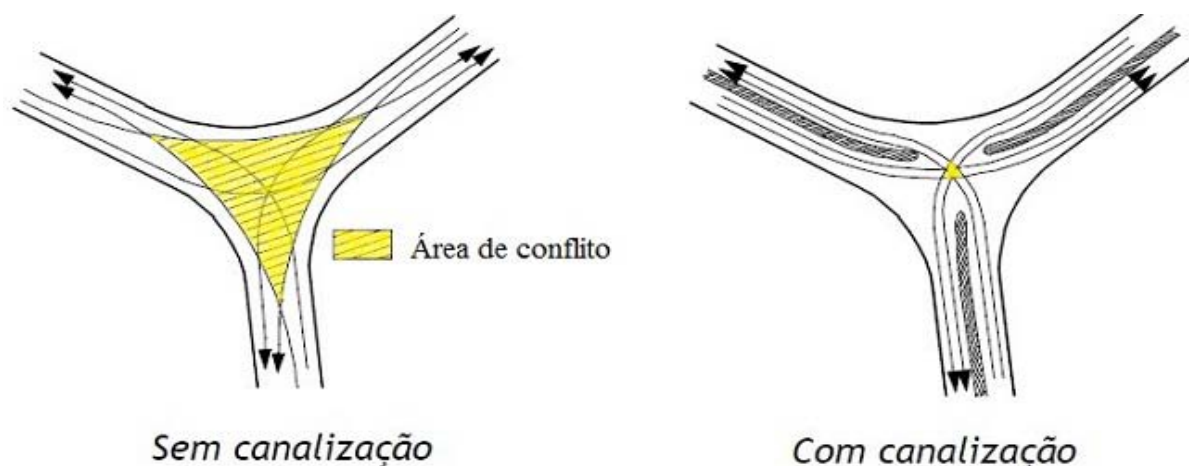


Figura 21 – Minimização das áreas de conflito (extracto dos apontamentos da disciplina de Circulação e Transportes I, FEUP, 2010, Portugal).

As grandes áreas de conflito são uma das características das intersecções com ângulos obtusos. Consequentemente, a redução do ângulo das intersecções é fundamental para a diminuição das áreas de conflito.

A canalização dos movimentos, através da criação de separadores centrais e ilhéus direccionais, permite então condicionar o comportamento do condutor minimizando as áreas de conflito, facultando-lhe orientações sobre o encaminhamento a tomar.

Segundo a norma portuguesa os objectivos da canalização, de acordo com os resultados da análise das condições operacionais que se verificam nas intersecções e das necessidades funcionais do seu traçado, são as seguintes:

a) Desencorajar ou proibir os movimentos indesejáveis ou errados

Ilhéus direccionais, separadores centrais ou raios de viragem devem ser usados para restringir ou evitar movimentos indesejados ou errados. Onde tais movimentos não puderem ser completamente bloqueados, deve a canalização da intersecção desencorajar a sua execução.

Separadores centrais impedem viragens à esquerda a partir da estrada principal para a estrada secundária e vice-versa. Esse tratamento pode ser apropriado nos locais onde as viragens à esquerda são perigosas ou provocam congestionamento (Figura 22A).

Separador central com raios adequados pode desencorajar movimentos incorrectos e perigosos da estrada principal para a estrada secundária, sem impedir outros movimentos previstos (Figura 22B).

Raio na estrada secundária em curva de aproximação, pode encorajar a viragem à direita e desencorajar a viragem indesejada à esquerda (Figura 22C).

Ilhéus com lancil elevado podem bloquear movimentos directos proibidos ou movimentos de viragem indesejados, sem impedir outros movimentos da intersecção (Figura 22D).

Eventualmente pode ser necessário impedir certos movimentos de modo a conseguir um fluxo de tráfego seguro e eficiente. A canalização deve ser cuidadosamente projectada para conseguir atingir esse objectivo sem inibir outros movimentos necessários ou desejados.

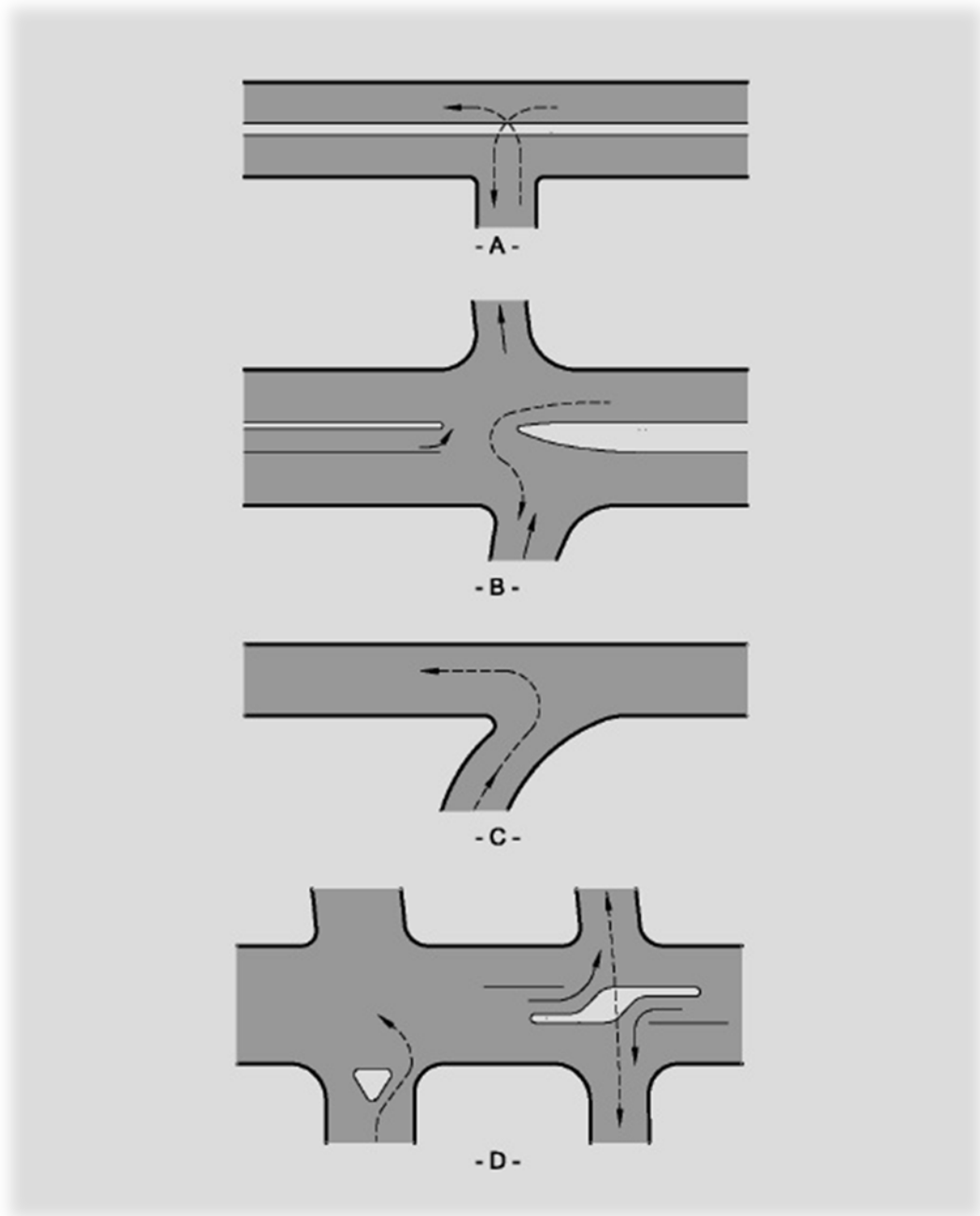


Figura 22 - Movimentos indesejáveis ou incorrectos devem ser desencorajados ou proibidos através de canalização (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).

b) Definir claramente as trajectórias que os veículos devem seguir

O projecto de uma intersecção, incluindo os alinhamentos das aproximações, ilhéus direccionais, sinalização horizontal e vertical e a forma geométrica, deve definir claramente as trajectórias adequadas ou desejadas para os veículos e, simultaneamente, de dissuadir as indesejadas. Faixas de tráfego para facilitar as viragens devem ser delineadas claramente para encorajar o seu uso pelos condutores. Os ilhéus direccionais não devem criar dúvidas quanto à direcção a seguir.

O alinhamento da aproximação, a canalização física e a sinalização indicam em conjunto a trajectória a seguir na intersecção. As faixas de viragem à esquerda são projectadas de modo a minimizar a possibilidade de serem inadvertidamente utilizadas pelos condutores que pretendam seguir em frente (Figura 23A).

A localização e o tipo de ilhéus ajudam a definir adequadamente as trajectórias dos veículos nas intersecções formadas pelos acessos a rodovias. A definição clara da trajectória é muito importante nesses pontos, pois há a possibilidade de movimentos errados, bem como a necessidade de acomodar grandes volumes de tráfego (Figura 23B).

A definição clara das trajectórias contribui não só para uma circulação mais segura como para o aumento da capacidade. A canalização adequada evita movimentos errados e reduz a possibilidade de mudança de faixa de rodagem de última hora.

Não é necessário, e muitas vezes é contraproducente canalizar cada um dos movimentos, usando um grande número de ilhéus. O bom senso na definição das trajectórias deve-se apoiar nas expectativas normais dos condutores. Os condutores geralmente reconhecem a ordem geral das prioridades impostas pelos tipos de movimento e pela sinalização.

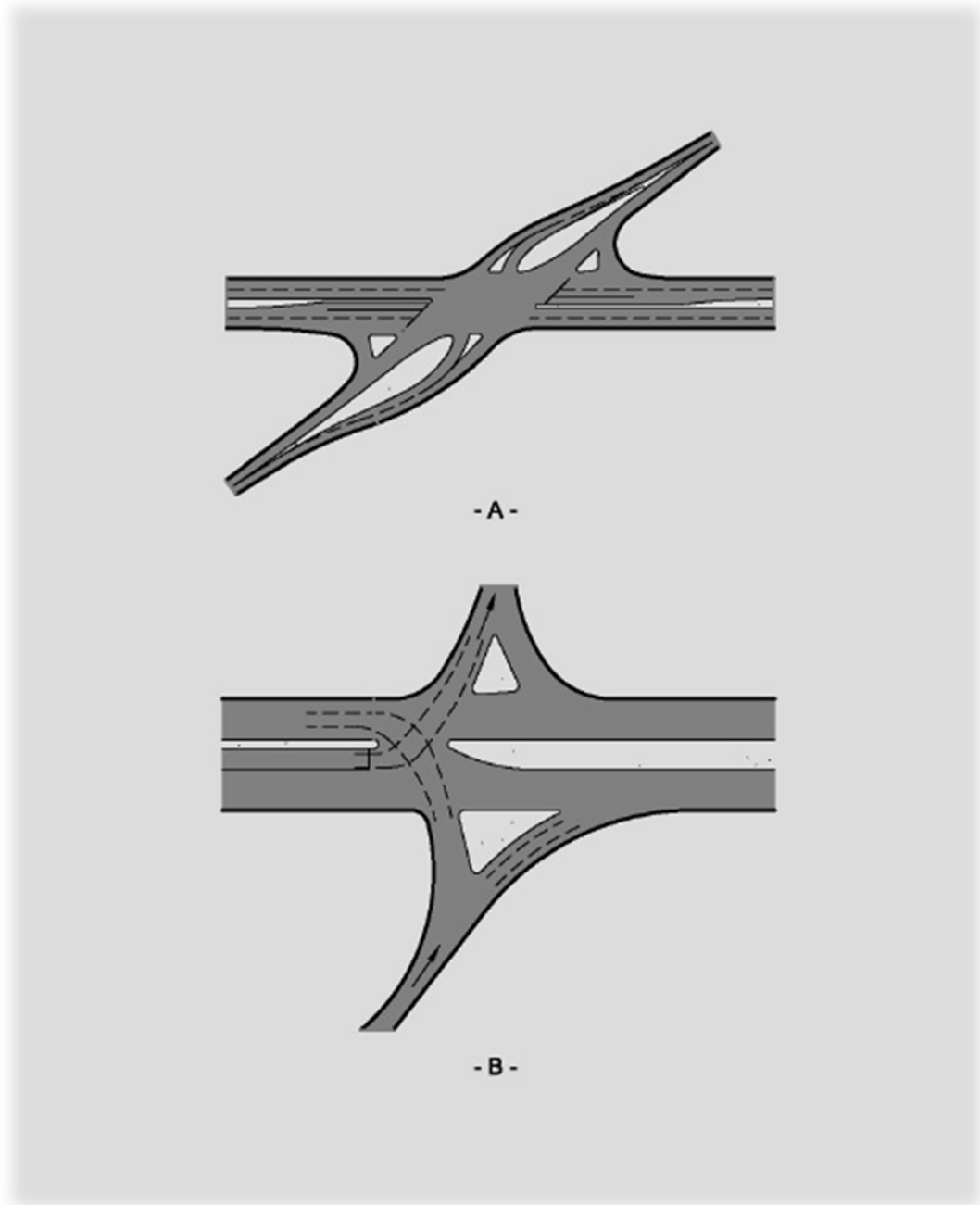


Figura 23 - Os elementos da canalização devm definir claramente as trajectórias (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).

c) Encorajar as velocidades convenientes, e sempre que possível as desejáveis

Sempre que possível a canalização deve incentivar velocidades adequadas para os veículos. Quando se pretendam velocidades altas e exista tráfego elevado é importante actuar sobre os alinhamentos. Em outros casos a canalização pode ser usada para limitar as velocidades dos veículos, visando reduzir conflitos a altas velocidades, proporcionando o que se denomina de acalmia de tráfego. Utiliza-se o afinilamento pois este mantém em alerta os condutores encorajando-os a circular a velocidades convenientes e desencorajando-os a fazer ultrapassagens indesejáveis. Quando correctamente dimensionado este afinilamento é facilmente compreendido pelos condutores sendo desejável que assim seja.

A canalização e o alinhamento correcto impõem a desaceleração aos condutores, circulando com velocidades baixas na aproximação do sinal “STOP” ou de cedência de passagem. Isto aumenta a segurança das viragens à esquerda na estrada secundária (Figura 24A).

O taper da via de viragem à esquerda na estrada principal deve permitir desaceleração segura e confortável para o condutor. Tapers longos são desejáveis, desde que a identificação da viragem à esquerda seja facilmente reconhecida (Figura 24B).

A entrada de uma via de viragem deve ser alargada para que a mesma se faça com facilidade e depois afinilada, ou estreitada, para a largura normal de uma via.

Pequenos raios de viragem, que implicam baixas velocidades nas viragens à direita são recomendáveis em locais onde regularmente há conflito com pedestres. Em outros locais, onde a capacidade é factor importante é aconselhado o uso de raios maiores, permitindo maiores velocidades e maiores volumes de viragem (Figura 24C).

Estes meios de controlo devem ser compatíveis com as trajectórias naturais, dos veículos, e devem ser introduzidos de forma gradual de modo a eliminar-se o efeito de surpresa, e portanto garantir a segurança da intersecção.

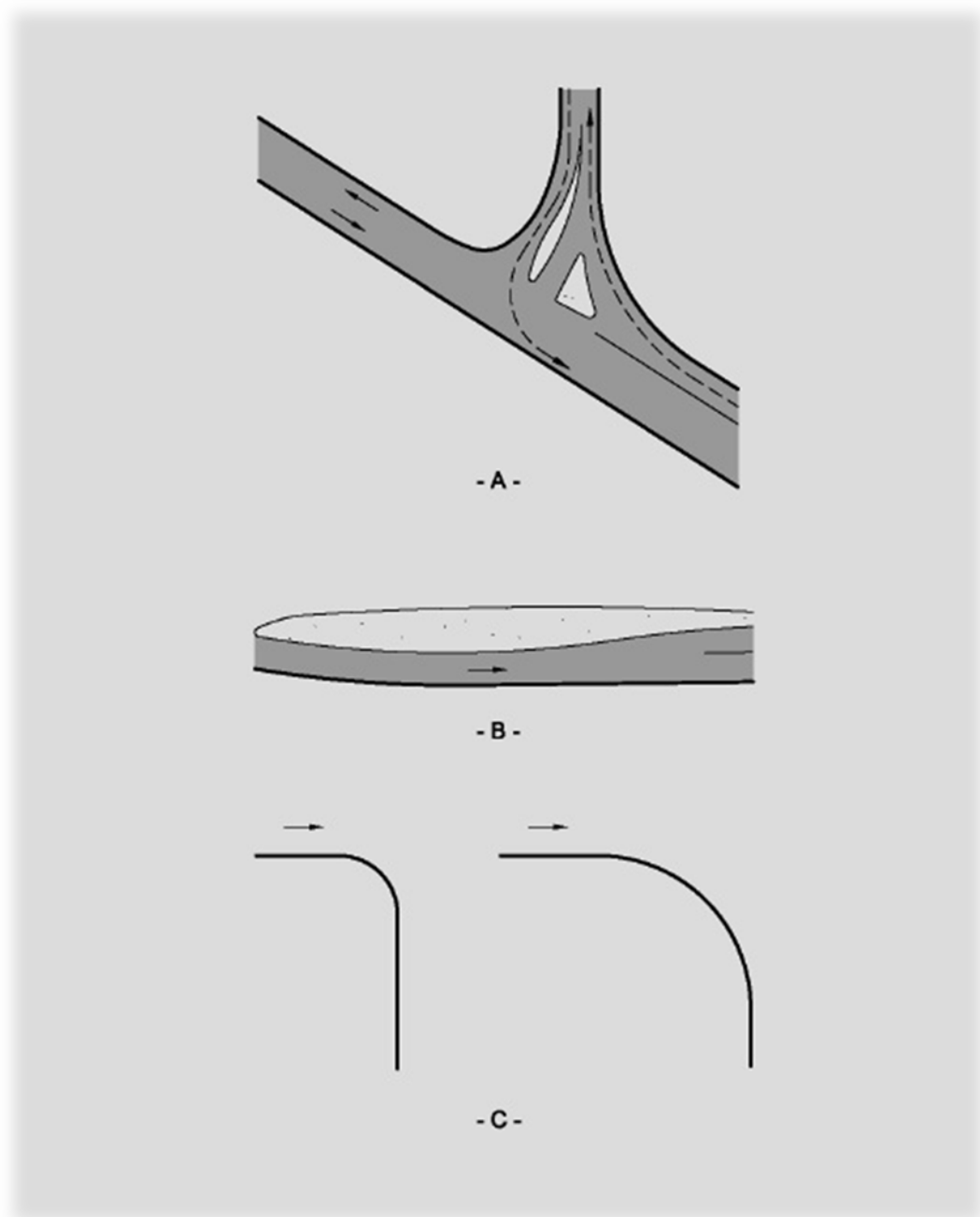


Figura 24 - A intersecção deve encorajar a velocidades adequadas e seguras (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).

d) Separar no espaço, e no tempo, os pontos de conflito tanto quanto possível

A separação dos pontos de conflito facilita a tarefa de condução. As técnicas de canalização tais como adopção de faixas de viragem, inclusão de ilhéus e controlo dos pontos de acesso, servem para separar os pontos de conflito, tornando possível ao condutor percebê-los individualmente e reagir prontamente a cada um deles.

Faixas exclusivas para viragem à esquerda evitam conflitos entre veículos, pois permitem a segregação do tráfego por direcções (Figura 25A).

Viragens à direita bem canalizadas separam os pontos de conflito de outros pontos de conflito da intersecção. Os separadores centrais evitam conflitos entre veículos com sentidos contrários (Figura 25B).

A manutenção de espaçamento adequado entre intersecções, combinado com o controle do acesso, separa os pontos de conflito ao longo de um corredor (Figura 25C).

A separação dos conflitos melhora não só a capacidade como a segurança. A adopção de faixas de viragem e de controlo de acesso por meio de separadores aumenta a capacidade por separar os conflitos da intersecção. A separação das faixas de rodagem opostas nas intersecções facilita as viragens à esquerda e os movimentos em frente.

A separação dos pontos de conflito deve atender ao elemento tempo e suas relações com a tarefa de condução, que inclui percepção, reacção, direcção e execução de manobras necessárias. Dessa forma, a separação dos conflitos deve ter sensibilidade na apreciação das velocidades das correntes. Muitos problemas de intersecções rurais existentes, intensamente canalizadas, resultam de insuficiente distância (ou tempo) entre pontos de conflito.

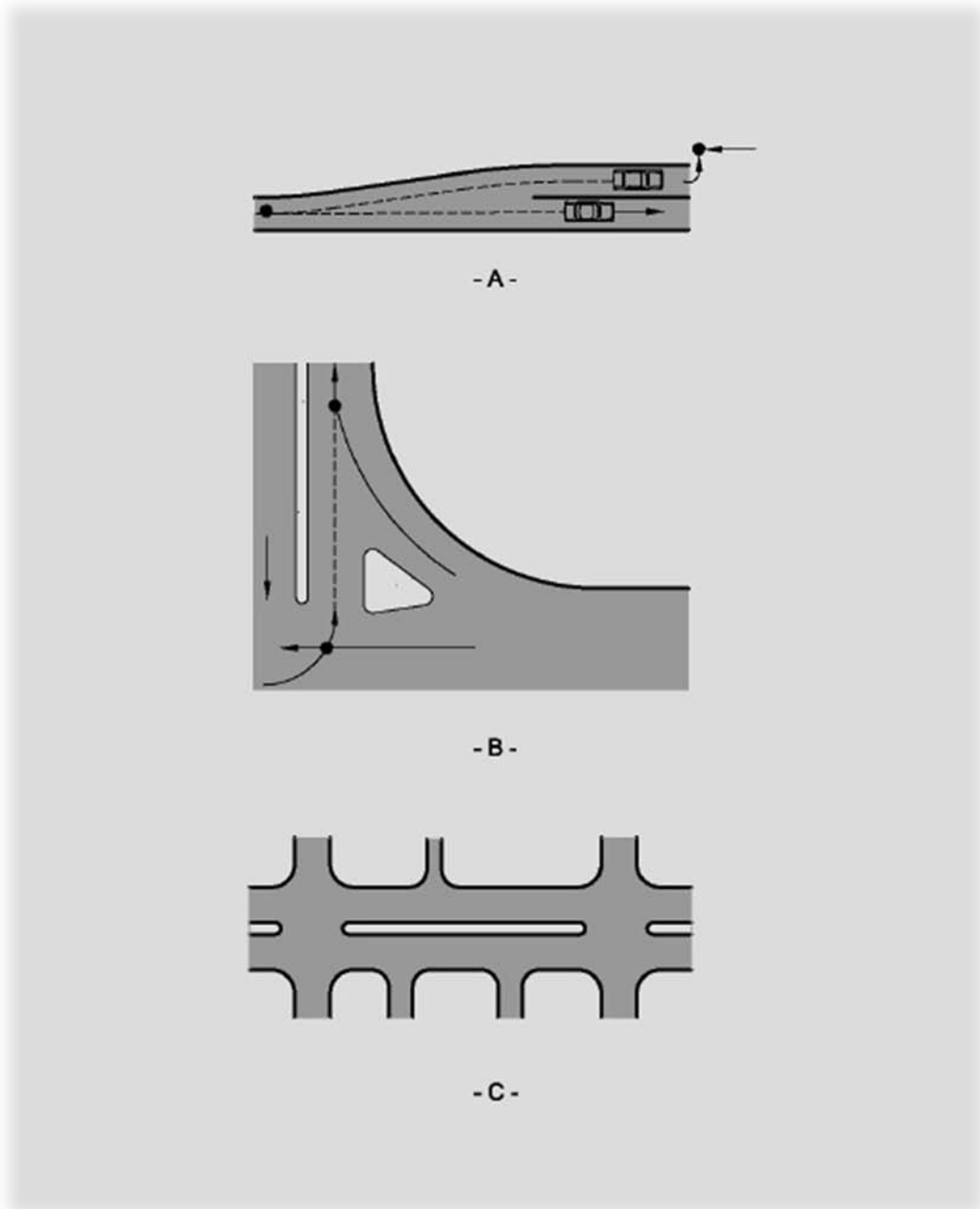


Figura 25 - A intersecção deve separar os pontos de conflito (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).

e) Assegurar que o cruzamento das correntes de tráfego se efectue de uma forma aproximadamente ortogonal e as convergências segundo ângulos muito agudos

O ângulo da intersecção de duas estradas influencia a natureza dos conflitos entre veículos e as manobras de viragem, interferindo grandemente nas características operacionais e na segurança.

Os cruzamentos devem ser tão próximos quanto possível de 90° . Ângulos rectos reduzem ao mínimo as distâncias e tempos de exposição a conflitos dentro da intersecção. Além disso, permitem aos condutores boa visibilidade, o que lhes facilita avaliar correctamente a distância e velocidade dos veículos com que se cruzam. Ângulos oblíquos até 120° são considerados satisfatórios pois o aumento da distância de atravessamento não é significativo, assim como a diminuição da visibilidade. Porém, no caso de ângulos superiores a 120° , devem-se analisar os condicionamentos económicos e de tráfego na zona, pois é aconselhado a alteração do traçado do ramo secundário da intersecção com o intuito de melhorar a visibilidade e reduzir as distâncias de atravessamento. No exemplo esquemático da Figura 26A, “dr” (a distância para cruzar em ângulo recto) é consideravelmente menor que “ds” (distância correspondente a um ângulo de 45°).

Viragens com ângulos muito pequenos produzem ângulos de visão desconfortáveis e frequentemente sujeitos a obstruções. O exemplo da Figura 26B é especialmente desaconselhável, já que o condutor que chega à estrada principal tem a visão obstruída pelo interior do carro.

Convergências que proporcionem correntes de tráfego que se incorporam formando ângulos pequenos facilitam muito a manobra de incorporação. Além disso, ângulos pequenos reduzem a energia de contacto, resultando em acidentes menos graves (Figura 26C).

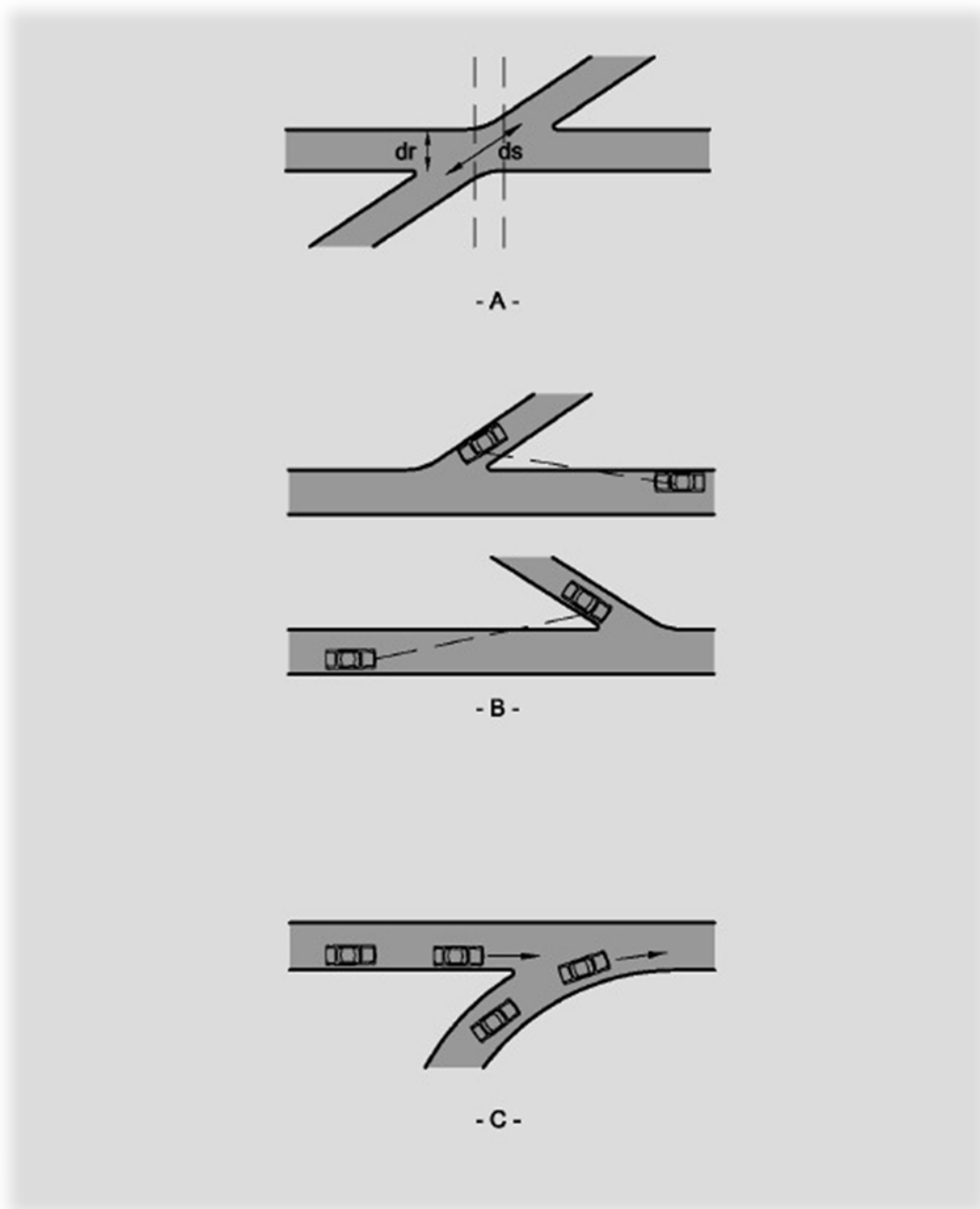


Figura 26 - As estradas devem cruzar-se com ângulos próximos de 90° graus e as vias de convergências segundo ângulos muito agudos (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).

f) Facilitar o movimento das correntes de tráfego prioritárias

A canalização do tráfego é condição essencial para assegurar a prioridade dos movimentos principais numa intersecção, e garantir a circulação na estrada prioritária com segurança. Consequentemente, haverá que controlar os movimentos secundários, seja com sinalização “STOP”, encurvando o traçado de modo a obrigar a uma redução da velocidade, afunilando o perfil transversal ou mesmo eliminando algumas das viragens.

Modificações no alinhamento de uma intersecção podem facilitar o movimento predominante. Movimentos que dantes eram de viragem podem ser transformados em movimentos directos, passando a secundários os fluxos de menores volumes (Figura 27A).

Consegue-se facilitar o movimento dos fluxos directos na estrada principal através da canalização nas intersecções. Vias auxiliares para viragens à esquerda e canalização das viragens à direita minimizam e separam os conflitos com o movimento directo da estrada principal. (Figura 27B).

A geometria e a canalização podem agir de forma eficiente para reforçar o controlo do tráfego. A geometria de aproximação aos pontos de paragem obrigatória deve ser claramente diferente da geometria de aproximação à intersecção vindo da estrada principal.

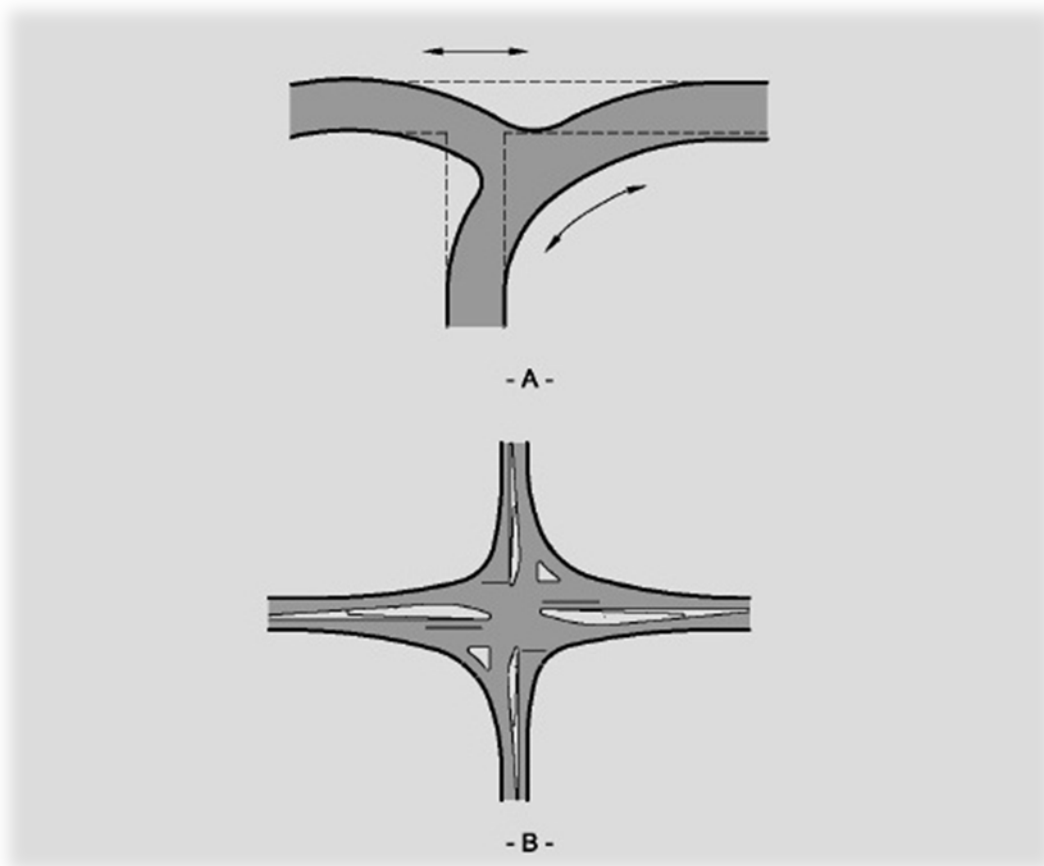


Figura 27 - A intersecção deve prioritar os movimentos da estrada principal (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).

g) Facilitar o controlo da circulação com a sinalização

O processo de canalização empregado deve facilitar e ajudar o esquema de controlo de tráfego seleccionado para operar na intersecção. A utilização de faixas exclusivas de variação de velocidade deve ser compatível com o tipo de sinalização utilizado na intersecção. O posicionamento de ilhéus e separadores deve ser acompanhado de sinalização vertical e horizontal bem visível aos condutores.

Os ilhéus e separadores, além de terem outras funções, são locais apropriados para a colocação de sinalização, como por exemplo sinais de “STOP” ou de cedência de paragem (ver Figura 15). O uso de canalização possibilita a colocação dos sinais dentro do cone de visão do condutor. Na Figura 28 é mostrado o uso de faixas exclusivas de viragem com sinalização de paragem obrigatória.

O controlo do tráfego e a geometria da intersecção estão estreitamente relacionados. Um bom plano de canalização reforça a percepção dos condutores do plano de controlo de tráfego, otimizando assim a operacionalidade da intersecção.

Para facilitar o controlo de tráfego é necessário adequado posicionamento das faixas de rodagem e da canalização. Esse posicionamento é importante na maximização da capacidade das intersecções e dependerá do sistema de controlo escolhido. Ele também afecta directamente o posicionamento das placas de sinalização, sinais luminosos, pontos de paragem obrigatória e outros dispositivos de controlo de tráfego.

Por exemplo, em aproximações com paragem obrigatória o projecto da intersecção deve encorajar a paragem e prover boas condições de visibilidade para ambos os sentidos do tráfego principal.

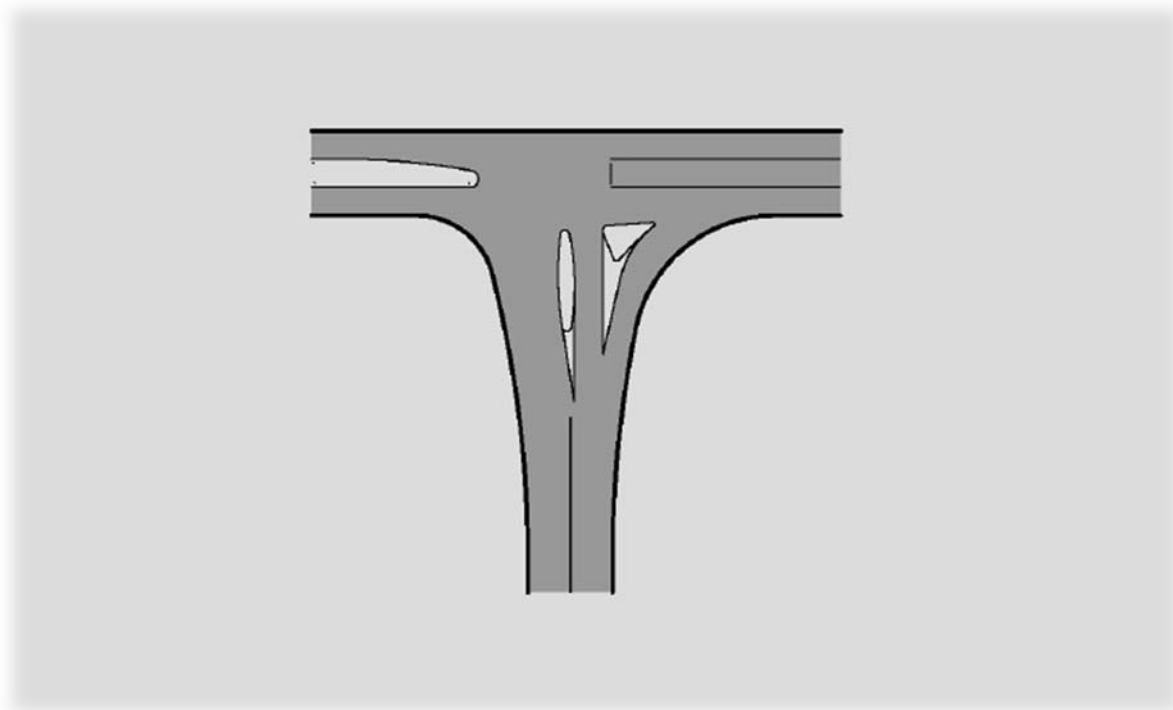


Figura 28 - Sinalização numa intersecção canalizada (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).

h) Assegurar a desaceleração e a paragem dos veículos fora das vias utilizadas pelo tráfego directo, que geralmente circula a velocidade elevada

O projecto de uma intersecção deve sempre que possível separar as correntes de tráfego com grandes diferenças de velocidade. Os condutores que precisam de desacelerar ou parar para atender à sinalização ou para efectuar viragens, devem ser separados do tráfego principal com maiores velocidades. O recurso a estas vias, a fim de nelas se efectuarem as alterações de velocidade dos veículos que entram e saiam das correntes de tráfego prioritárias, melhora a segurança e a eficiência duma intersecção.

Faixas separadoras para viragens à esquerda e à direita em estradas rurais de altas velocidades segregam os veículos em processo de desaceleração dos veículos do tráfego directo. O perigo potencial de graves acidentes por colisão de frente faz o uso das faixas separadoras recomendáveis, independentemente dos volumes de tráfego nas manobras de viragem (Figura 29A).

Em estradas urbanas, as faixas de viragem à esquerda removem da corrente principal os veículos que esperam oportunidade de viragem. Isso permite que aguardem o sinal de tráfego adequado ou as brechas da corrente contrária que consintam a travessia sem prejuízo para o tráfego da corrente principal contrária (Figura 29B).

O tráfego converge melhor, e mais eficientemente, segundo ângulos pequenos, e quando as diferenças de velocidades são mínimas.

Consequentemente, as vias de aceleração devem ter, pelo menos, a extensão necessária para que o tráfego que converge atinja a velocidade do tráfego directo.

A via de desaceleração relativa às viragens à esquerda deverá ser normalmente protegidas por um separador de central.

As vias de aceleração só serão consideradas quando a estrada principal tenha 2x2 vias.

A aplicação destes princípios dependerá das características do tráfego e da via, e a experiência indicará até que ponto poderão ser modificados a fim de satisfazer as condições encontradas em intersecções particulares. Em qualquer projecto de canalização, é requisito básico a simplicidade, consideram-se indesejáveis as intersecções complexas que apresentam múltipla escolha de movimentos.

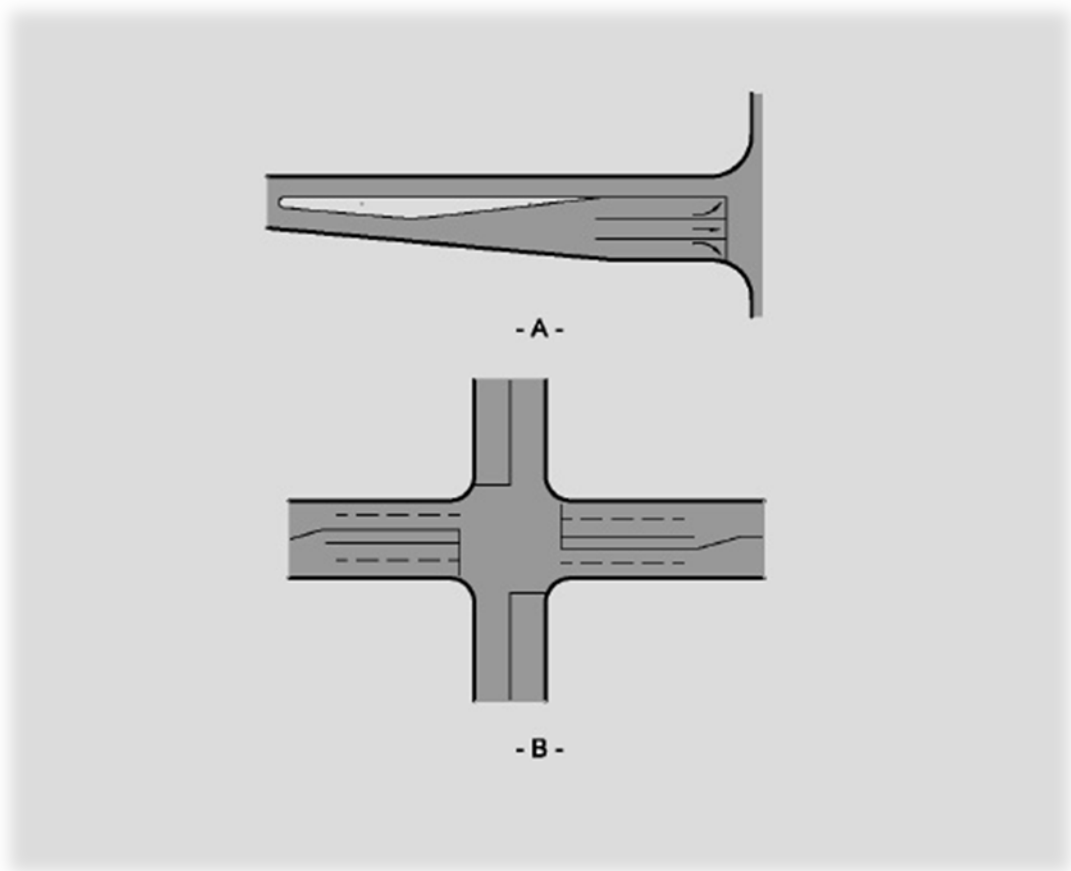


Figura 29 - Veículos em processo de desaceleração, ou parados, devem ficar fora da faixa de tráfego directo (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).

3.4.3.2. SOLUÇÕES COM CANALIZAÇÃO DE TRÁFEGO POR SEPARADORES E ILHÉUS DEMARCADOS

São soluções onde a canalização do tráfego é assegurada quer ao nível da via prioritária quer da secundária através de ilhéus simplesmente demarcados no pavimento. A sua função depende, assim, do respeito dos condutores pelas regras. Esta demarcação é normalmente obtida por intermédio de pinturas, podendo, no entanto, também ser conseguida com recurso a outros materiais de pavimentação, tais como, pedra, betão ou materiais conglomerantes, de forma a conseguir percepções visuais contrastantes.

É assim garantida a paragem e stockagem dos veículos que pretendam virar à esquerda, numa via segregada, sem perturbações na corrente principal de atravessamento. Os separadores permitem ainda aumentar a segurança e capacidade dos movimentos não prioritários de atravessamento e viragem à esquerda, ao assegurarem a execução destas manobras em duas fases.

Como os ilhéus não constituem elementos físicos intransponíveis, as características geométricas são habitualmente menos exigentes, assumindo-se que, em caso de avaria de um veículo, o bloqueio geral da intersecção é evitado pela transposição das marcações.

A ilha separadora existente nos ramos da estrada secundária é também apenas demarcada. Porém, em determinadas situações, principalmente no caso de se tratar de áreas urbanas com elevado número de atravessamentos pedonais, é aconselhável a materialização dessa ilha, garantindo-se deste modo um refúgio para os peões e o seu atravessamento em duas fases.

São soluções pouco notórias, pelo que tendem a apresentar maiores índices de sinistralidade do que as soluções com ilhéus e separadores materializados.

Este tipo de solução é normalmente utilizado em situações onde o número de viragens à esquerda a partir da estrada principal possa gerar problemas de sinistralidade e/ou quando o TMDA, para o conjunto dos dois sentidos, na estrada secundária exceda os 500 veículos por dia (ver Figura 19).



Figura 30 – Entroncamento na estrada N10 com canalização demarcada (imagem de satélite tirada do Google Earth para este trabalho).

3.4.3.3. SOLUÇÕES COM CANALIZAÇÃO DE TRÁFEGO POR SEPARADORES FISICAMENTE MATERIALIZADOS

Nestas soluções a canalização do tráfego é assegurada mediante separadores e ilhéus fisicamente materializados por lancil, o que os torna, em condições normais de funcionamento, intransponíveis.

Permitem incutir no condutor a necessidade de redução da velocidade, ao mesmo tempo que impedem as ultrapassagens indesejáveis no troço de atravessamento da intersecção. São portanto entre o conjunto de soluções possíveis as que apresentam menores índices de sinistralidade.

Exigem contudo maiores espaços de ocupação e maiores custos de construção, pelo que apenas se justifica a sua adopção quando os níveis de procura ou de segurança o solicitem. É a solução adequada sempre que os volumes de tráfego sejam elevados mas compatíveis com este tipo de regulação, em particular no que respeita aos movimentos de viragem à esquerda a partir da via prioritária.

Na sua configuração mais complexa podem apresentar vias de aceleração para viragens à direita a partir da estrada secundária (só para estradas 2x2 vias) e de desaceleração para viragens à esquerda a partir da estrada principal.

São utilizadas particularmente em zonas rurais, onde os volumes de tráfego são superiores ao caso anterior, respondendo de uma forma eficiente até volumes de 8000 veículos por dia nos dois sentidos, em ambas as estradas (ver Figura 19).



Figura 31 – Cruzamento na estrada N109 com canalização fisicamente materializada (imagem de satélite tirada do Google Earth para este trabalho).

3.5. INDICADORES DE DESEMPENHO AO NÍVEL DO POTENCIAL INTRÍNSECO DA SOLUÇÃO

3.5.1. GENERALIDADES

É necessário fazer uma análise de um conjunto alargado de indicadores, para que se consiga fazer uma acertada avaliação e/ou previsão global do desempenho de uma solução face a um determinado

conjunto de utilizadores. Esta previsão é utilizada, face a um determinado estudo de tráfego, na selecção do tipo de intersecção a utilizar.

Os indicadores são os seguintes:

- a capacidade potencial;
- a fluidez oferecida;
- a segurança de operação;
- o conforto/stress provocado;
- a versatilidade de operação;
- o grau de compatibilidade com o "ambiente" e funções envolventes;
- os custos de investimento, manutenção e operação.

Estudos relativos às soluções adoptar em intersecções urbanas (Roads and Traffic in Urban Areas, Institution of Highways and Transportation, Her Majesty's Stationery Office, England, 1987) resultaram no gráfico da Figura 32, que relaciona os tipos básicos de intersecções com os volumes de tráfego das vias que se interceptam.

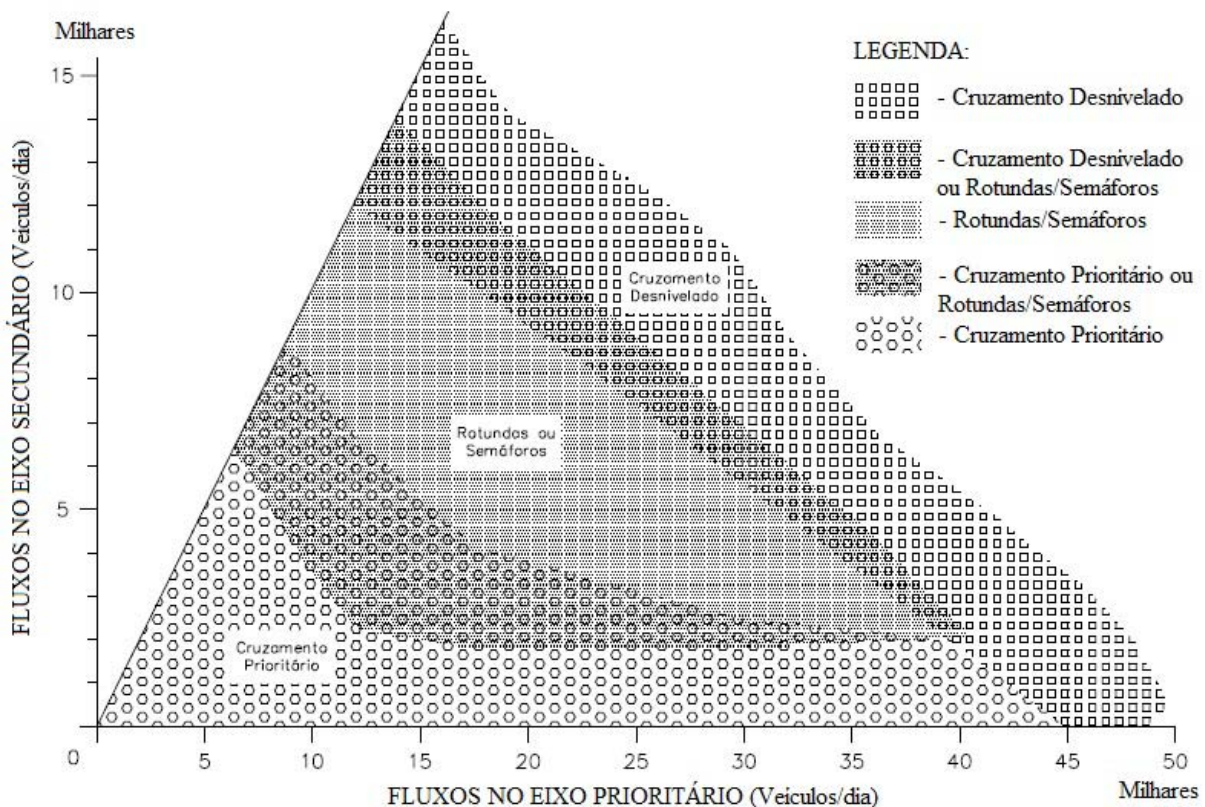


Figura 32 – Domínio de aplicabilidade dos diferentes tipos de intersecções em relação ao indicador capacidade potencial (extraído de Roads and Traffic in Urban Areas, Institution of Highways and Transportation, Her Majesty's Stationery Office, England, 1987).

Na análise à figura, constata-se que o cruzamento prioritário, tema neste trabalho, é o que apresenta menor capacidade potencial quando comparado com outro tipo de regulação, nomeadamente com as rotundas e com os sistemas semaforizados, pelo que em função dos níveis e características da procura a sua substituição por outro tipo de regulação poderá tornar-se indispensável.

Como se pode verificar, e à semelhança da Figura 19, os cruzamentos prioritários com volumes de tráfego da via prioritária semelhantes aos registados na via secundária, no máximo tendem a garantir capacidades na ordem dos 8000 veículos por dia, no conjunto dos dois sentidos de trânsito.

É de notar que os níveis de capacidade potencial oferecidos pelas soluções semaforizadas e do tipo rotunda são semelhantes.

Do mesmo modo é importante notar a existência de algumas zonas de sobreposição dos campos de aplicação das soluções prioritárias em relação às semaforizadas, e destas em relação às desniveladas.

Estas sobreposições de aplicação demonstram que embora o indicador capacidade potencial seja muito importante, a selecção do tipo de solução mais adequado a cada caso não será, em muitos casos, totalmente dependente dele.

A fluidez da circulação, representada pelos atrasos impostos aos condutores, ou pelo nível de redução da velocidade de circulação ou pelo número de paragens impostas aos veículos, é também um indicador importante quer para a avaliação da qualidade do serviço oferecido, como também para avaliação dos custos de utilização pelos veículos e dos custos ambientais associados.

Também a segurança de operação é obviamente um aspecto importante atendendo aos custos sociais e económicos associados à sinistralidade rodoviária.

O indicador de versatilidade engloba conceitos como sejam a facilidade com que uma tipologia suporta movimentos de inversão de marcha, ou formas activas de controlo que permitam a adaptação em tempo real da forma de funcionamento do cruzamento.

O nível de compatibilidade com o ambiente urbano ou rural envolvente é importante, por exemplo quando se avalia o grau de compatibilidade de cada alternativa com as necessidades de outros sistemas de transportes, nomeadamente o pedonal.

Por fim é necessário ter presente os custos do investimento inicial, e as estimativas do custo de manutenção e de operação ao longo de toda a vida útil da infra-estrutura.

3.5.2. INDICADORES DE DESEMPENHO AO NÍVEL DO POTENCIAL DE INTEGRAÇÃO SISTÉMICA

É necessário atender à lógica de funcionamento pretendido para o conjunto da rede viária. Como tal, é fundamental uma avaliação da adequação de cada opção, podendo, justificar-se a adopção de uma solução não óptima de acordo com os indicadores intrínsecos acima referidos. Justifica-se uma referência aos seguintes indicadores:

- grau de compatibilidade com a organização funcional da rede viária;
- grau de compatibilidade com o padrão sistémico das soluções da rede ou eixo viário;
- potencial de criação de determinadas "singularidades".

A primeira questão, ligada à necessária inter-relação entre as tipologias dos cruzamentos e as tipologias funcionais das estradas que neles se cruzam, é extremamente importante, e decorre por um

lado da necessidade de, em cada cruzamento, se tratar cada acesso de acordo com a importância funcional que tem e, por outro lado, de se contribuir para criar nos condutores as expectativas correctas relativamente à importância da estrada que usam e das estradas que cruzam. Como tal, tipologias mais "igualitárias" tenderão a ter melhor desempenho quando a importância das várias estradas que acedem ao cruzamento for semelhante e vice-versa.

A questão do respeito pelos padrões de soluções existentes é também muito importante para que possam ser respeitadas as expectativas naturais dos condutores e, por essa via, possam ser reduzidos os efeitos de stress, desconforto ou mesmo desrespeito pela regulação neles induzidos. Por exemplo, note-se que se ao longo de um eixo viário estruturante a larga maioria dos cruzamentos existentes é do tipo semaforização, provavelmente será correcto que em processos de reconversão de algum cruzamento essa tipologia seja também adoptada.

3.5.3. CRITÉRIOS DE SELECÇÃO DAS SOLUÇÕES

A selecção da tipologia a aplicar em cada caso depende de análises mais ou menos formais ou quantificadas do tipo "custo-benefício" ou "multicritério".

Nas primeiras analisam-se e comparam-se os custos/benefícios generalizados associados a cada alternativa, medidos essencialmente pelos indicadores intrínsecos (custos temporais associados aos atrasos, de sinistralidade, de operação dos veículos, económicos ou ambientais, de investimento, manutenção e operação).

Nas segundas faz-se a análise da qualidade das soluções alternativas face a um conjunto alargado de objectivos não redutíveis a uma mesma variável valorativa de desempenho como são, em boa parte, os representados pelos indicadores sistémicos.

4

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS INTERSECÇÕES

4.1. GENERALIDADES

4.1.1. PRINCÍPIOS BÁSICOS

Os princípios básicos a que deve obedecer o traçado de uma intersecção são os mesmos que condicionam o traçado de uma estrada, isto é:

- otimizar a qualidade operacional das correntes de tráfego;
- minimizar os acidentes e a sua gravidade;
- reduzir os custos.

As dificuldades verificadas na maior parte das intersecções são as seguintes:

- concentração de movimentos numa pequena área;
- alterações drásticas da velocidade dos veículos que pretendam efectuar viragens;
- dificuldade de compreensão atempada da intersecção por alguns condutores.

Os objectivos da canalização, amplamente referidos no capítulo 3, são:

- a) desencorajar, ou proibir, os movimentos indesejáveis ou errados;
- b) definir claramente as trajectórias que os veículos devem seguir;
- c) encorajar as velocidades convenientes, e sempre que possível as desejáveis;
- d) separar no espaço, e no tempo, os pontos de conflito tanto quanto possível;
- e) assegurar que o cruzamento das correntes de tráfego se efectue ortogonalmente e as convergências segundo ângulos muito agudos;
- f) facilitar o movimento das correntes de tráfego prioritárias;
- g) facilitar o controlo da circulação com a sinalização;
- h) assegurar a desaceleração e a paragem dos veículos fora das vias utilizadas pelo tráfego directo, que em geral circula a velocidade elevada.

Estes objectivos são assegurados no traçado de uma intersecção pelo recurso aos seguintes elementos:

- traçado correcto dos ramos de acesso à intersecção (planta e perfil longitudinal);
- vias individualizadas para os diferentes movimentos;
- separadores;
- vias de aceleração e desaceleração;

- ilhas separadoras e direccionais;
- raios de curva que facilitem as viragens;
- sinalização horizontal e vertical.

Para uma intersecção garantir segurança e comodidade na circulação, devem ser satisfeitas as seguintes condições:

- ✓ concepção simples;
- ✓ visível a grande distância (função da velocidade base da estrada em que se integra);
- ✓ compreensível à primeira vista;
- ✓ fácil de atravessar.

4.1.2. ESTRADA PRINCIPAL OU PRIORITÁRIA

Em estradas novas é necessário ter em consideração a implantação das intersecções na definição da rasante da estrada. Pretende-se, com isso, assegurar boas condições de visibilidade. Há que ter em conta também as seguintes restrições em relação à localização das intersecções:

- não devem ser localizadas em curvas convexas;
- não devem ser localizadas em traíneis com inclinação superior a 3%;
- não devem ser localizadas em curvas de raio inferior ao raio cómodo, nem no intradorso das curvas, independentemente do seu raio.

Pode haver vias de aceleração para os veículos provenientes da estrada secundária que viram à direita, não sendo portanto necessário nesse caso, nem conveniente, adoptar um traçado que obrigue esses veículos a reduzirem a velocidade.

Dependendo da intensidade de tráfego e da velocidade base da via, podem ser consideradas vias de desaceleração (viragens à esquerda na via principal) e vias de aceleração (viragens à esquerda na via secundária).

No caso de uma estrada com duas vias a intersecção deve ter unicamente uma via em cada sentido para o tráfego directo. Quando, excepcionalmente, a estrada tiver 2x2 vias, estas manter-se-ão nas intersecções. O separador de sentidos deverá ter a largura necessária para que o atravessamento da intersecção se efectue em duas fases.

De forma a assegurar-se uma drenagem eficaz deve-se ter especial cuidado na análise da altimetria da intersecção.

4.1.3. ESTRADA SECUNDÁRIA

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

Para provocar aos condutores necessidade de abrandamento, é utilizado normalmente um traçado com uma curva e contra-curva antes da intersecção, de raios decrescentes. A rasante deve ter uma inclinação diminuta (<3%), a fim de facilitar a paragem e o arranque dos veículos pesados. A estrada

secundária deve ter um traçado tal, em planta e perfil, que assegure uma boa drenagem das águas pluviais, a fim de se evitarem zonas com menor aderência no caso de temporais.

É importante que as estradas se intersectem ortogonalmente para facilitar aos veículos o atravessamento e as viragens à esquerda na estrada secundária. Quanto aos veículos que efectuem viragens à direita devem poder parar segundo um ângulo de aproximadamente 45°, relativamente à estrada principal, a fim de se assegurar a visibilidade necessária.

Os separadores de sentidos e de vias são essenciais na estrada secundária, a fim de individualizarem as trajectórias dos veículos e os obrigarem a reduzir a velocidade.

4.2. ALINHAMENTOS

4.2.1. GENERALIDADES

Os alinhamentos horizontais e verticais da estrada principal no local de uma intersecção são geralmente estabelecidos por condicionantes que dificultam a realização de alterações para atender as exigências operacionais da intersecção. Contudo, se a condicionante não for a económica, quase sempre é possível introduzir modificações em locais de geometria desfavorável, modificando assim os alinhamentos de modo a garantir boas condições de visibilidade e de operação.

Os alinhamentos horizontais e verticais nas aproximações devem despertar a atenção ao condutor para a iminência da intersecção e ao mesmo tempo permitir que ele se concentre nas operações de percepção, reacção e direcção.

4.2.2. ALINHAMENTO HORIZONTAL

Em intersecções, é desejável, atendendo aos aspectos económicos e de segurança que, as vias concordantes se encontrem segundo um ângulo igual ou próximo de 90°. As estradas que se cruzam segundo um ângulo agudo exigem extensas áreas de estrada em curva e tendem a restringir a visibilidade, especialmente para os condutores de pesados. Os cruzamentos em ângulo agudo aumentam o tempo de exposição dos veículos que cruzam a corrente de tráfego directo, aumentando o risco de acidentes.

Ângulos de intersecções entre 75° e 90° são geralmente considerados como valores onde a visibilidade é pouco restringida. Contudo, alguma margem de manobra pode ser permitida. Um ângulo de 60° é considerado aceitável, quando a sua utilização implica grandes reduções de custo de construção, em relação à adopção de ângulos maiores, diminuindo também as áreas a expropriar. Para ângulos inferiores ao limite de 60° deve-se considerar o realinhamento.

O realinhamento dos cruzamentos para ângulos rectos pode ser feito de duas formas: a primeira está representada na Figura 34a e 34b, a segunda consiste em substituir o cruzamento por intersecções deslocadas, conforme mostra a Figura 34c e 34d. Com a primeira consegue-se assegurar melhores condições de operação, com a segunda é introduzida uma só curva em cada ramo do cruzamento, fazendo com que os veículos que pretendam atravessar tenham que entrar na estrada principal e depois retomar a estrada secundária.

O realinhamento da estrada secundária, conforme indicado na Figura 34c, proporciona um acesso com continuidade interrompida, pois o veículo que atravessa precisa retomar a estrada secundária fazendo

uma viragem à esquerda na estrada principal, manobra esta que condiciona muito o comportamento da intersecção. Como tal, para que as intersecções tenham elevado desempenho é necessário a introdução de vias próprias de viragem à esquerda. As intersecções deslocadas segundo a Figura 34c só devem ser utilizadas quando o tráfego na estrada secundária for moderado e quando os destinos forem locais.

Quando o traçado da estrada secundária for o mostrado na Figura 34d a continuidade do acesso melhora, pois o veículo que atravessa vira primeiro à esquerda na estrada principal (manobra que pode ser feita em segurança) e depois vira à direita para retomar a estrada secundária, interferindo muito pouco na corrente de tráfego directo.

A intersecção deslocada pode ser vantajosa ao cruzamento quando existe elevado fluxo de atravessamento vindo da estrada secundária (ver Figura 33). As estatísticas mostram que a substituição de cruzamentos por intersecções desalinhadas, trás benefícios ao nível da segurança, com reduções dos acidentes em 60%.

Quando uma estrada secundária é tangente a uma curva da estrada principal, o seu realinhamento é vantajoso, conforme mostra a Figura 34g. O método conduz o tráfego para a estrada principal, melhorando as condições de visibilidade da intersecção, reduzindo a área de conflito, o tempo necessário para a travessia e conseqüentemente o tempo de exposição ao perigo, reduzindo também a possibilidade de colisões. É necessário ter em conta neste tipo de situações a sobre-elevação da estrada em curva, tendo que ser feito o estudo da situação.

No caso de uma intersecção múltipla deve-se transformá-la em duas intersecções distintas, de três e quatro ramos, conforme mostra a Figura 34e e 34f. É preferível ligar os ramos às estradas secundárias, porque se evita uma maior perturbação do tráfego prioritário com a simplificação. Normalmente são estradas com baixa intensidade de tráfego que não justificam uma ligação directa à estrada principal.



Figura 33 – Intersecção deslocada na estrada IC2 (imagem tirada do Google Earth para este trabalho).

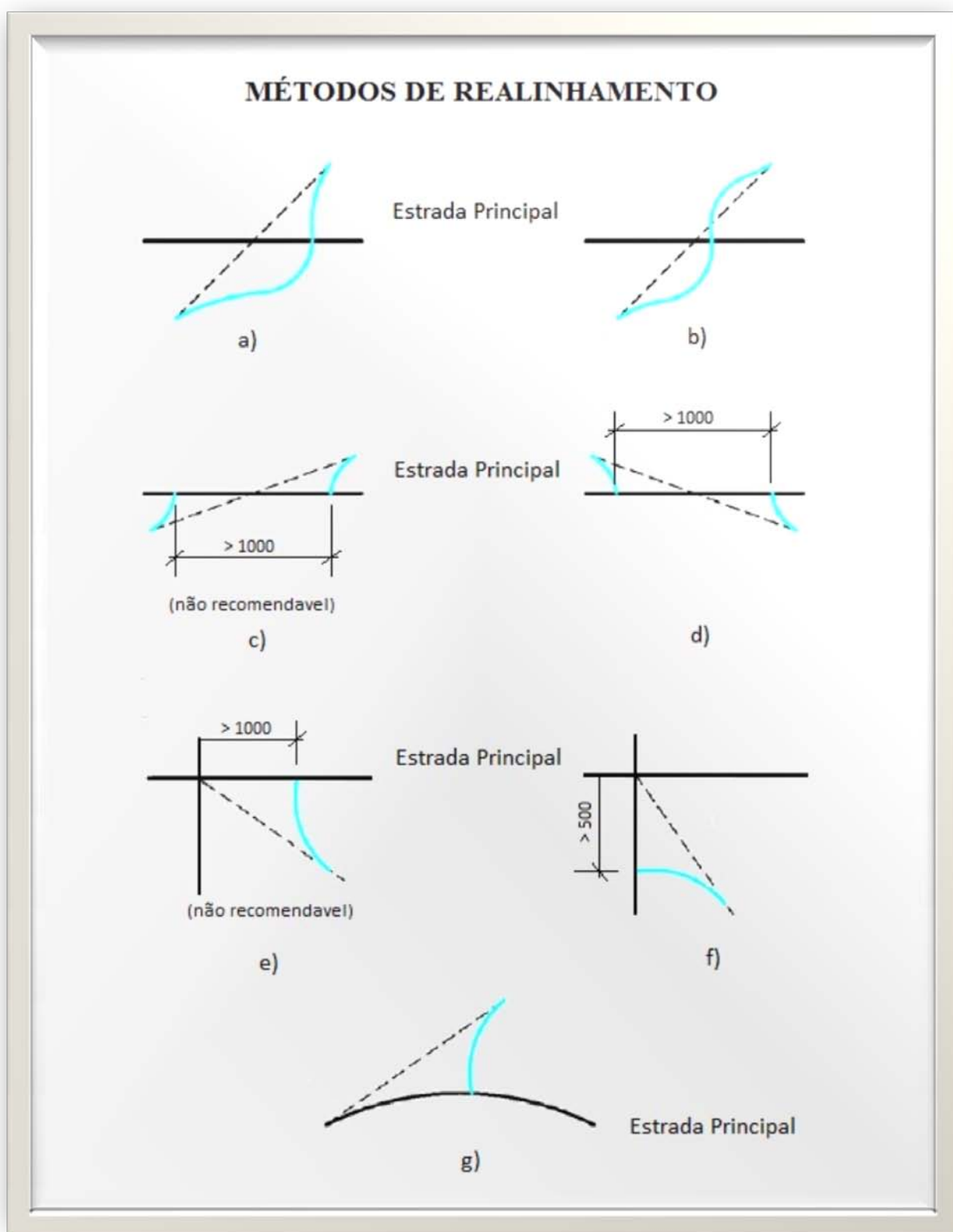


Figura 34 – Métodos de realinhamento (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

4.2.3. ALINHAMENTO VERTICAL

Deve-se evitar grandes variações de inclinação nos cruzamentos, embora isso nem sempre seja exequível. É necessário prover ampla distância de visibilidade ao longo das estradas que se interceptam, sempre que uma ou ambas as estradas se interceptem em curvas verticais.

As inclinações das estradas devem ser tão suaves quanto possível nas intersecções, especialmente nos trechos de armazenagem de carros parados. Inclinações da rasante na intersecção maiores que 3% devem ser evitadas.

As inclinações da rasante e as secções transversais dos ramos da intersecção devem ser ajustadas a uma determinada distância da intersecção, a fim de proporcionar uma junção suave com drenagem adequada. A inclinação da rasante da estrada principal deve ser mantida através da intersecção, o que exige a transição da secção transversal da estrada secundária para uma secção transversal inclinada em sua junção com a estrada principal.

Em geral, o traçado e as inclinações têm maiores restrições nas intersecções ou nas suas proximidades do que em estrada contínua. As restrições nas intersecções são as seguintes:

- traçado e inclinação deve ser compatível na zona da intersecção para que as faixas de tráfego sejam nitidamente visíveis pelos usuários a qualquer momento;
- deve ser evitado o súbito aparecimento de conflitos potenciais e mantida a uniformidade das soluções;
- a combinação da curva vertical e horizontal deverá permitir distância de visibilidade suficiente na intersecção;
- após uma curva vertical convexa não deve ser projectada uma curva horizontal fechada, nas proximidades de uma intersecção.

4.2.4. RECOMENDAÇÕES

Situações excepcionais que não sigam as regras gerais enunciadas em 4.2.2 e 4.2.3 e onde a sua substituição não seja possível devem merecer cuidados especiais que constituem estas recomendações.

A ocorrência de uma curva vertical convexa antes de uma intersecção, como mostrado na Figura 35, impede a visibilidade da intersecção. Normalmente, para resolver este tipo de situações é necessário fornecer ao condutor visibilidade suficiente para que se aperceba da existência da intersecção. Como tal, nesta situação é desejável iniciar o alargamento da estrada para formação da faixa de viragem à esquerda mais cedo do que o normal. De forma semelhante, a antecipação do alargamento da estrada secundária para canalização antes de uma curva é uma boa solução.

Em locais onde a intersecção tem que ser feita dentro de curvas fechadas, deve-se prover ampla distância de visibilidade, que deve ser sempre superior à distância mínima de visibilidade de paragem, uma vez que em curva a distância de frenagem aumenta, devendo-se ao efeito da força centrífuga que reduz a força normal ao pavimento reduzindo assim a força de atrito exercida pelos pneus.

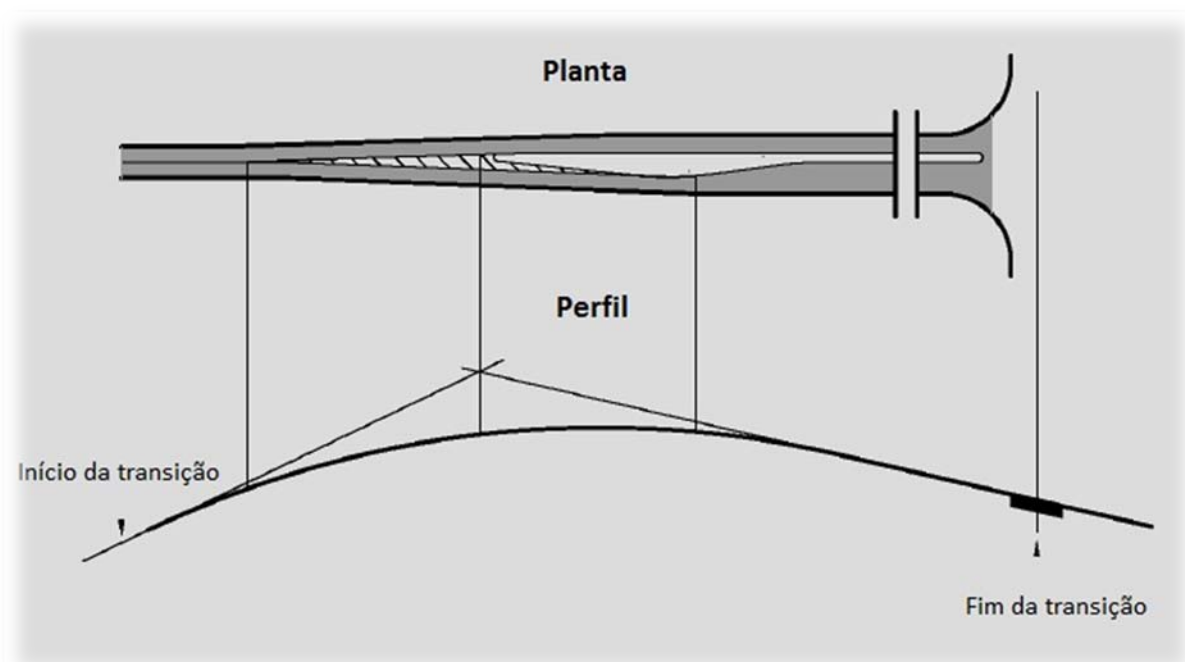


Figura 35 – Ajuste em planta para fornecer ao condutor visibilidade antecipada da intersecção (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

4.3. DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE

4.3.1. GENERALIDADES

As condições de visibilidade asseguradas por uma determinada intersecção, influenciam quer os níveis de segurança quer de serviço, na medida em que determinam as condições de convergência, viragem e atravessamento.

Ao aproximar-se de uma intersecção o condutor de um veículo prioritário deve ter a visão completamente desimpedida de toda a intersecção a uma certa distância, para que consiga parar no caso de surgir um obstáculo inesperado no seu percurso. A área de visibilidade necessária depende da velocidade de tráfego da estrada principal e da distância percorrida durante os tempos de percepção, reacção e frenagem.

Atendendo ao modo de funcionamento das intersecções prioritárias, o condutor do veículo não prioritário precisa de parar para encontrar um intervalo na corrente principal que permita a sua entrada em segurança na nova corrente de tráfego ou à total travessia da intersecção. Ocorrendo o intervalo na corrente de tráfego ele deverá acelerar o veículo de modo a que a sua entrada interfira o menos possível nas correntes de tráfego. Para que tal aconteça, o condutor, no caso de atravessamento ou viragem, deve ser capaz de visualizar a estrada prioritária para ambos os lados, ao longo de um comprimento capaz de lhe permitir inserir-se na corrente prioritária em segurança. Este conceito é igualmente aplicável aos movimentos de viragem à esquerda a partir da via prioritária. No caso de atravessamento da estrada principal o intervalo deverá permitir a passagem de todo o veículo para jusante da estrada cruzada.

Em intersecções deve-se dispor de maiores distâncias de visibilidade de paragem na estrada principal, uma vez que é esperado maior número de conflitos do que num trecho livre de interferências.

A norma JAE P5/90 define distâncias de visibilidade sobre os extremos dos separadores, que devem ser visíveis, sempre que possível, a 300 metros, e no mínimo a 180 metros. E que devem assegurar a máxima inter-visibilidade possível entre os veículos que se aproximam da intersecção.

Quando não for possível proporcionar distância adequada de visibilidade, a velocidade de tráfego da estrada prioritária na intersecção deve ser reduzida em função da distância de visibilidade disponível, através de sinalização ou outro tipo de controlo deverá ser utilizado na intersecção.

4.3.2. DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE DE PARAGEM

A distância de visibilidade de paragem permite ao condutor, cuja vista se considera à altura de 1,10 metros da superfície da estrada, parar o veículo antes de alcançar um obstáculo com 0,15 metros de altura.

Distâncias de visibilidade de paragem adequadas à velocidade de tráfego estabelecida para a estrada prioritária são elementos essenciais para uma circulação segura e eficiente do tráfego.

As distâncias de paragem podem ser restringidas por curvas verticais convexas demasiado próximas, por obstáculos laterais muito próximos da intersecção, ou ainda pelo comprimento insuficiente, por curvas verticais côncavas em trechos não iluminados, ou por obstáculos laterais muito próximos da intersecção ou ainda pelo próprio desenvolvimento da directriz da estrada principal.



Figura 36 - Restrição de visibilidade devido a uma concordância convexa, na estrada N114 (Fotografia tirada pelo autor para este trabalho).

Devem-se garantir as distâncias de visibilidade de paragem, para assim permitir que os veículos prioritários visualizem atempadamente e controlem os movimentos de convergência, viragem e atravessamento de eventuais veículos não prioritários, de forma a alterarem a sua marcha ou mesmo pararem, caso se justifique (Figura 37).

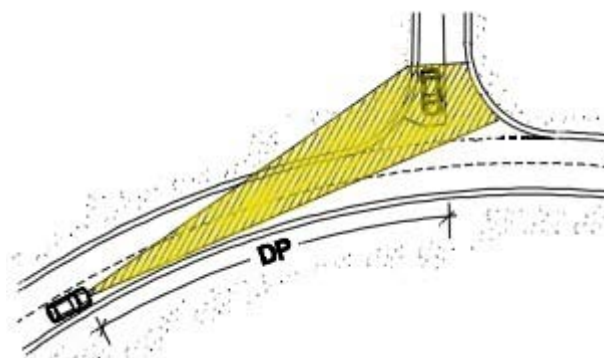


Figura 37 - Critério de visibilidade a partir da via prioritária (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

Os valores das distâncias de visibilidade de paragem são calculados pela fórmula apresentada:

$$DP = \frac{2}{3,6} \times V + \frac{0,11 \times V^2}{2 \times 3,6^2 \times (f_l + w_m \pm w_i)} \quad (1)$$

sendo:

$$w_m = w_{mo} \times \left(1 + \frac{V^2}{1500}\right) \quad (2)$$

e:

$$w_i = 0,01 \times i \quad (3)$$

com:

DP – Distância de visibilidade de paragem [m]

V – Velocidade de tráfego da estrada prioritária [km/h]

f_l – Coeficiente de aderência longitudinal [N/N]

w_m – Resistência específica ao movimento para velocidades superiores a 50 km/h [N/N]

w_{mo} – Resistência específica ao movimento para velocidades inferiores a 50 km/h [N/N], normalmente 0,015;

w_i – Resistência devido à inclinação [N/N]

i – Inclinação do traínel [%]

Na fórmula da distância de visibilidade de paragem, o primeiro termo corresponde à distância percorrida durante o tempo de percepção, decisão e reacção do condutor comum, que se considera ser de 2 segundos após ver o obstáculo, entrando a velocidade em km/h. O segundo termo fornece a distância percorrida desde o início da actuação do sistema de frenagem até à imobilização.

As distâncias mínimas de visibilidade de paragem calculadas neste trabalho são apresentadas no Quadro 3, juntamente com as preconizadas na norma JAE P5/90.

Para o cálculo das distâncias de visibilidade de paragem em função das velocidades de tráfego da estrada prioritária é necessário a adopção dos diversos coeficientes implícitos na fórmula, para tal, é necessário saber o que representa cada um deles.

Para velocidades moderadas (≤ 50 km/h) a resistência específica ao movimento é constante. Para velocidades superiores esta resistência aumenta, não só porque a deformação dos pneus é maior, mas porque também não há tempo para que se recupere a sua forma primitiva, perdendo-se parte da energia de deformação.

A quantificação desta resistência é feita experimentalmente. Comummente, adopta-se para veículos ligeiros o valor 0,02 N/N, ou para os pesados o valor 0,03 N/N.

Neste caso, a situação mais gravosa é a resistência ao movimento dos veículos ligeiros, pelo que, adopto o valor de 0,02 N/N.

A resistência correspondente às inclinações (w_i), é devida à componente do peso do veículo segundo uma paralela ao plano do pavimento.

Para o cálculo das distâncias de visibilidade mínimas vou desprezar esta resistência, pois em intersecções a inclinação máxima dos traínéis deve ser de 3%, o que não é significativo.

O coeficiente de (f_l) depende sobretudo das asperezas entre o interface pneu/pavimento e dos materiais que possam coexistir entre estes dois materiais. Também a velocidade com que o veículo se desloca vai permitir um melhor ou pior “encaixe” do pneu no pavimento e maior ou menor tolerância do condutor a acção da aceleração.

A aderência longitudinal está directamente relacionada com a aceleração com que um veículo e seus ocupantes estão sujeitos. Como tal, estas variáveis são apontadas normalmente como elementos básicos para caracterizarem o conforto e segurança dos passageiros nas variações do movimento dos veículos.

Esta afirmação é comprovada pela seguinte dedução:

tendo a 2ª lei de Newton:

$$F = m \times a \quad (4)$$

a força de atrito:

$$F_a = P \times f_l \quad (5)$$

e a lei da gravidade:

$$F_g = m \times g \quad (6)$$

considerando que o veículo circula em trajectória rectilínea e que apenas actua sobre ele a força de atrito, então, existe um movimento rectilíneo uniformemente variado cuja aceleração é:

$$a = g \times f_l \quad (7)$$

com:

F – força [N]

m – massa [kg]

a – aceleração [m/s^2]

F_a – força de atrito [N]

F_g – força gravítica [N]

f_l – coeficiente aderência longitudinal [N/N]

g – aceleração gravítica [m/s^2]

Para o cálculo das distâncias mínimas de visibilidade de paragem, vou considerar o valor de $3 m/s^2$ para a desaceleração no caso de travagem, que é um valor plausível, e razoável. Portanto, o valor do coeficiente de aderência longitudinal é $0,3 N/N$, considerando a aceleração gravítica em $10 m/s^2$.

Quadro 3 – Distâncias mínimas de visibilidade de paragem (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).

Velocidade de tráfego na estrada principal (km/h)	60	70	80	100
Distância mínima - JAE P5/90 (m)	80	100	120	180
Distância mínima - calculada (m)	81	104	129	188

Como se constata, os valores das distâncias mínimas de visibilidade de paragem calculadas neste trabalho assemelham-se às preconizadas na norma JAE P5/90, o que não admira pois foi aí usada a mesma expressão (ou muito semelhante).

Contudo, os valores do Quadro 3 devem considerar-se como mínimos absolutos ao longo do traçado, pelo que sempre que seja possível devem adoptar-se distâncias de visibilidade maiores nas intersecções, a fim de se melhorar a segurança.

Nas curvas horizontais a distância mínima de visibilidade lateral é delimitada, por uma recta que une os pontos extremos da referida distância, medida sobre uma linha imaginária situada sobre o pavimento e a 1,5 m da aresta interior do mesmo. A zona limitada pelas rectas obtida pela maneira indicada deve estar desimpedida de obstáculos que impeçam a visibilidade necessária. Podem constituir obstáculos: postes, árvores, dispositivos de drenagem, muros, edificações, placas de sinalização, taludes de corte, cercas, moitas, etc.

Quando as distâncias mínimas de visibilidade não puderem ser cumpridas (Figura 37), devido a concordâncias convexas ou mesmo pelo próprio desenvolvimento da directriz da estrada principal, deve-se colocar sinalização de velocidade obrigatória antes da intersecção, de modo a regular a velocidade dos veículos com o espaço visível. Essa velocidade é calculada pelo processo inverso ao anterior, pois agora temos a distância de visibilidade disponível “in loco”, que corresponde neste caso à distância mínima de paragem, e queremos saber a velocidade de tráfego que permita ao condutor numa situação de perigo travar e evitar a colisão, segundo as condições de visibilidade do local.

A sinalização de velocidade obrigatória, como é óbvio deve estar antes da intersecção e a uma distância que permita ao condutor regular a velocidade do veículo para a velocidade imposta no local e

se necessário travar o veículo em segurança, logo após a regulação da velocidade. Essa distância é calculada com a seguinte expressão:

$$Dc = DP + \frac{2}{3,6} \times V \quad (8)$$

com:

Dc – distância mínima entre o ponto de colocação da sinalização à intersecção [m]

O primeiro termo da expressão é referente à distância de visibilidade existente no local, que neste caso corresponde à distância de visibilidade de paragem para a velocidade imposta. O segundo termo fornece a distância percorrida durante o tempo de percepção, decisão e reacção do condutor na regulação da sua velocidade para a velocidade compatível com as condições de visibilidade da intersecção. Mais uma vez se consideram os 2 segundos para a actuação do condutor. A velocidade entra na expressão em km/h.

O recurso a sinalização será medida excepcional, não admissível em Itinerários Principais ou Complementares.

4.3.3. TRIÂNGULO MÍNIMO DE VISIBILIDADE

Como medida de segurança, são considerados triângulos de visibilidade nas intersecções. Estes devem ter dimensões suficientes de modo a permitir aos condutores dos veículos não prioritários verem os veículos prioritários ao longo do tempo devido, a fim de encontrarem um intervalo na corrente prioritária que permita a sua entrada em segurança na nova corrente.

A identificação dos obstáculos à livre visão depende do veículo de projecto considerado. No caso português é sempre considerado que tanto o olho do condutor como o objecto estão à altura de 1,10 metros.

Deve ser sempre assegurada a prioridade da estrada principal, pelo que o tráfego da estrada secundária deverá ser sempre controlado. Esse controlo será sempre efectuado através de paragem obrigatória, consubstanciado pela implantação de sinais de "STOP" e/ou de "Aproximação de Estrada com Prioridade".

No caso de implantação de uma estrada nacional nova é necessário o arranjo de toda a envolvente, o que implica restabelecer novas ligações entre as estradas existentes e a estrada nova. Esses restabelecimentos podem alterar significativamente a estrutura da rede local. Como tal, é importante ter em conta o triângulo mínimo de visibilidade nestas intersecções da rede local. Intersecções estas que na grande maioria dos casos, e em especial em redes locais urbanas, não têm qualquer sinalização reguladora sendo as prioridades geridas pela regra de prioridade à direita.

Em ambos os sistemas de prioridades, enunciados atrás, o cálculo do triângulo mínimo requerido livre de obstáculos vem em função das relações espaço-tempo-velocidade. Se este triângulo não for possível obter, é necessário limitar a velocidade imposta aos veículos que se aproximam da intersecção.

Qualquer objecto que esteja dentro do triângulo de visibilidade a uma altura que constitui obstrução à visibilidade, deve ser removido. Esta condição obriga em áreas urbanas, à eliminação do estacionamento perto das intersecções.

Faz-se então a análise do cálculo do triângulo mínimo de visibilidade para os sistemas de prioridade mencionados.

Caso I. Paragem obrigatória para os veículos antes da intersecção com uma estrada principal

Numa intersecção onde o tráfego da estrada secundária é controlado pelo sinal de "STOP" e/ou de "Aproximação de Estrada com Prioridade", é necessário por razões de segurança, que o condutor do veículo que está parado à entrada da intersecção tenha suficiente visibilidade sobre a estrada principal que lhe permita atravessar antes da chegada de um veículo (ver Figura 38). A distância de visibilidade sobre a estrada principal é dada pela expressão:

$$d = \frac{1}{3,6} \times V \times (t + t_a) \quad (9)$$

com:

d – distância mínima de visibilidade sobre a estrada principal [m]

V – velocidade de tráfego na estrada principal [km/h]

t – tempo de percepção – reacção para arranque do veículo parado [s]

t_a – tempo para acelerar e percorrer a distância necessária para desocupar a estrada principal [s]

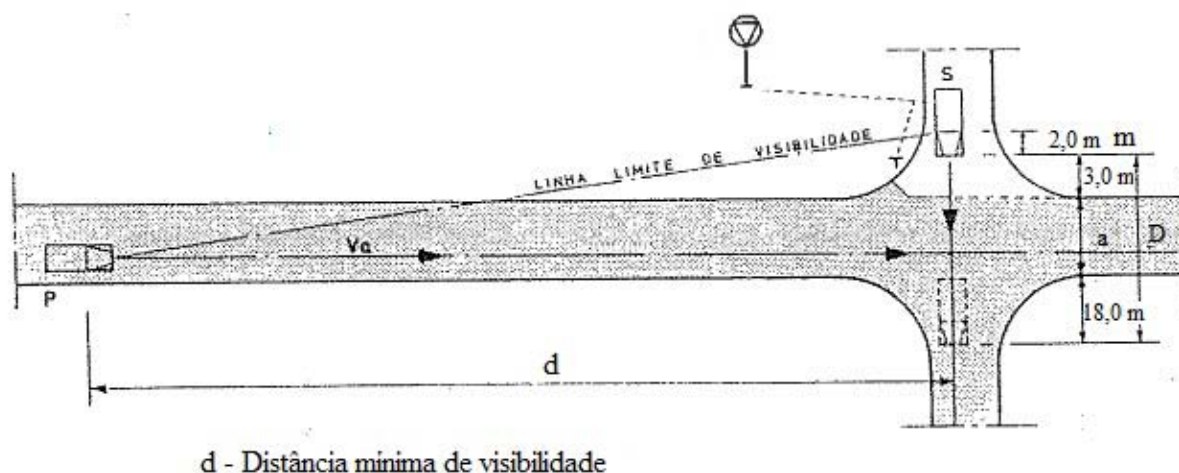


Figura 38 – Esquema do triângulo mínimo de visibilidade (extractos da norma JAE P5/90).

Na expressão, o segundo termo é multiplicado por $\frac{1}{3,6}$ para que se possa entrar com a velocidade de tráfego na estrada principal em km/h.

O tempo “t”, é o tempo que o condutor necessita para olhar para ambos os lados da estrada, e iniciar a manobra de atravessamento da estrada principal, estima-se no caso das estradas nacionais em 2 segundos.

O tempo “t_a” necessário para atravessar a estrada principal depende principalmente da capacidade de aceleração dos veículos e da distância a atravessar.

Os valores de “t_a”, são fixados pela norma JAE P5/90 em 11 segundos para estradas com duas vias e em 13 segundos no caso de estradas com 2x2 vias com separador central de largura igual ou inferior a 5,0 metros. Estes valores obtêm-se através dos seguintes cálculos:

considerando a travessia um movimento rectilíneo uniformemente acelerado, vem:

$$S = V_0 \times t + \frac{1}{2} \times j \times t^2 \quad (10)$$

com:

S – distância a percorrer pelo veículo de projecto no atravessamento da via prioritária[m]

V₀ – velocidade do veículo no instante inicial [m/s]

t – tempo de atravessamento, corresponde neste caso ao t_a [s]

j – aceleração do veículo no atravessamento [m/s²]

A distância a percorrer pelo veículo de projecto no atravessamento de uma estrada prioritária é a soma de três distâncias, que são: (ver Figura 38)

- distância do bordo exterior da estrada principal ao veículo. Nas normas é considerado que o veículo que cede a prioridade pára a 3,0 metros do limite da faixa de rodagem da estrada principal;
- distância entre os bordos exteriores da estrada principal. Depende do número de vias a atravessar e da largura do separador;
- comprimento do veículo de projecto. Que se considera, neste caso, de 18,0 metros.

É considerada uma aceleração de 0,50 m/s² para os veículos na travessia da via prioritária, que é pequena para veículos ligeiros, mas compatível com o arranque dos veículos pesados em rampa de 3%, que é a inclinação recomendável para a rasante em intersecções.

No cálculo do tempo de atravessamento, a velocidade do veículo no instante inicial é zero, pois o veículo encontra-se perante uma via prioritária onde é obrigatória a paragem.

Portanto, para estradas de duas vias, o tempo de atravessamento da via prioritária (t_a) é calculado com a expressão (10), resolvida em ordem a “t”, onde se considera uma distância a percorrer no atravessamento de 28,0 metros, isto porque, temos duas vias de 3,5 metros, mais a distância do bordo exterior da via prioritária ao veículo e mais o comprimento do veículo de projecto. No caso de estrada prioritária de 2x2 vias com separador central de largura menor ou igual a 5,0 metros, temos de entrar com mais 7,0 metros devido as duas vias extras e mais 5,0 metros do separador, perfazendo 40,0 metros de travessia que origina um tempo de atravessamento de 13 segundos, tal como o preconizado nas normas. No primeiro caso resultarão 11 segundos conforme prevêm as normas.

Nas Figuras 39 e 40 são demonstrados os métodos de medição da distância mínima de visibilidade para as situações de cruzamento em recta e em curva, nos casos de possibilidade e proibição de ultrapassagem.

TRIÂNGULO MÍNIMO DE VISIBILIDADE

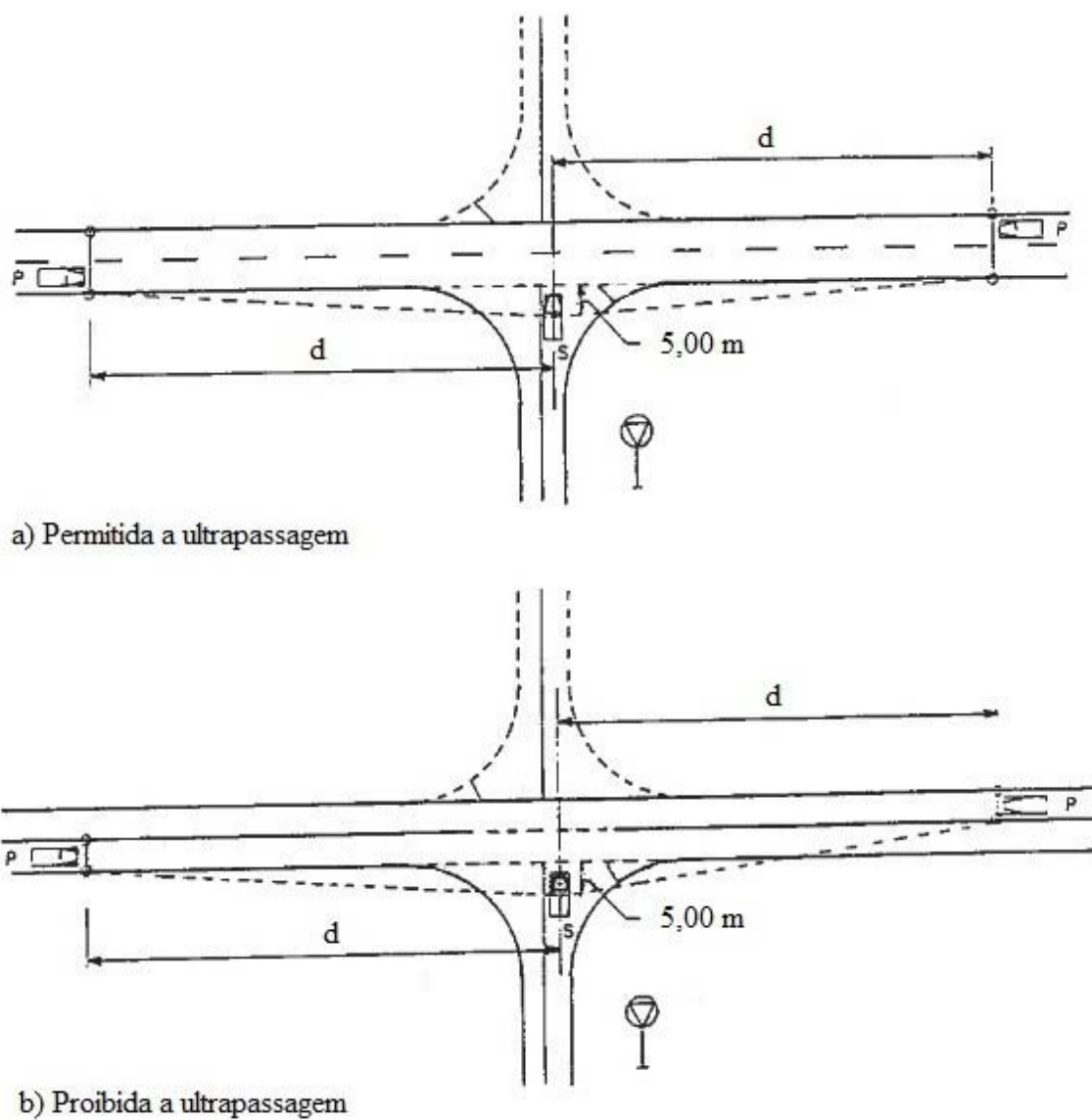


Figura 39 – Esquema do triângulo mínimo de visibilidade em recta (extractos da norma JAE P5/90).

TRIÂNGULO MÍNIMO DE VISIBILIDADE

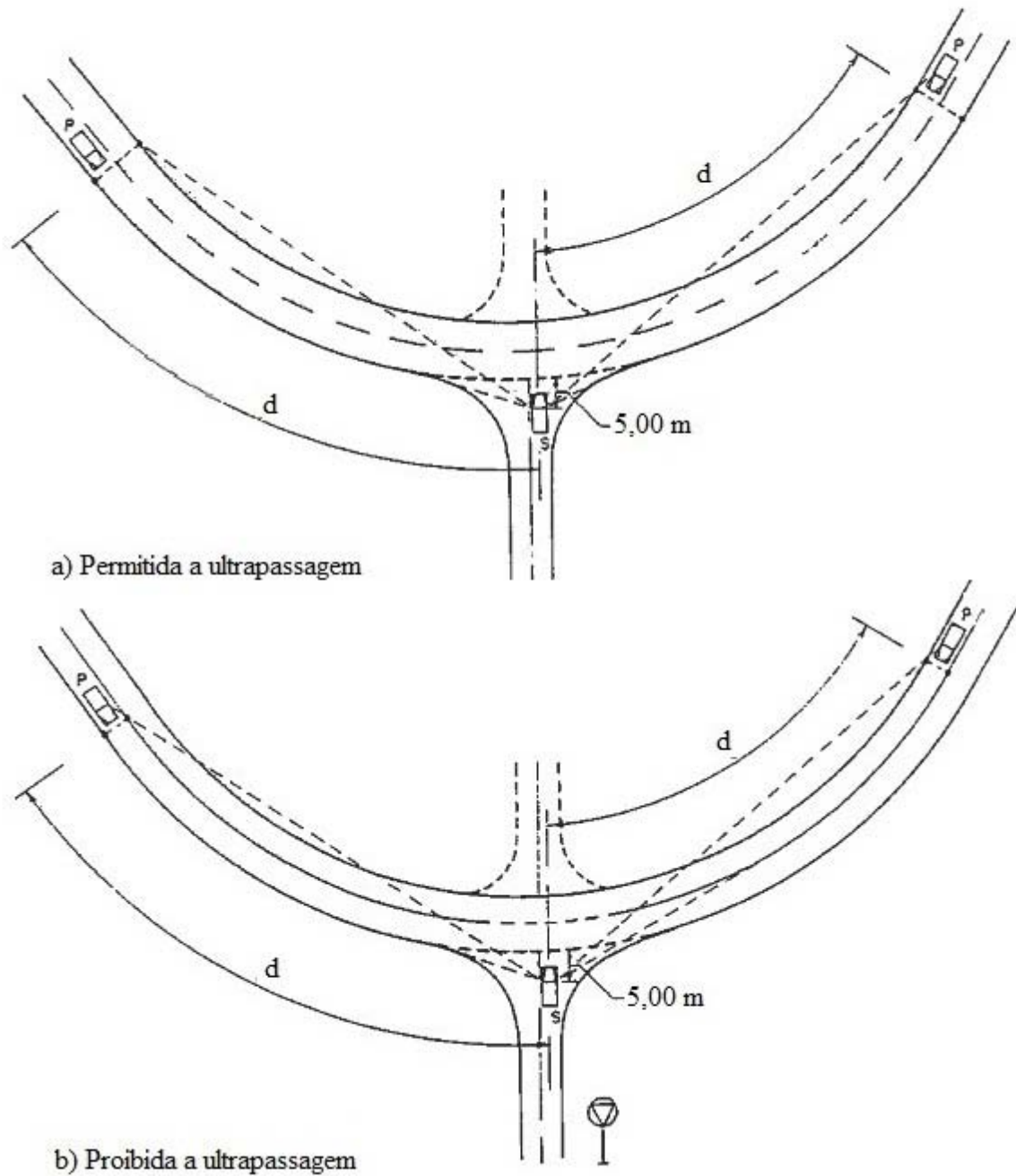


Figura 40 – Esquema do triângulo mínimo de visibilidade em curva (extractos da norma JAE P5/90).

No Quadro 4, apresentam-se as distâncias mínimas de visibilidade sobre a estrada prioritária em função da velocidade de tráfego da estrada principal, sendo esta de uma ou de duas vias por sentido.

Quadro 4 – Distâncias mínimas de visibilidade sobre a estrada principal (quadro elaborado pela JAE P5/90).

Velocidade de tráfego da estrada principal (km/h)	Distância mínima de visibilidade sobre a estrada principal (m)	
	2x1 vias	2x2 vias (separador ≤ 5,0 m)
40	145	170
50	185	210
60	220	250
70	255	300
80	290	340
100	365	420
120	435	500

A distância mínima de visibilidade sobre a estrada principal (d), é sempre superior à distância de visibilidade mínima de paragem, mas é de facto a necessária para que o veículo não prioritário realize o atravessamento em segurança e sem incomodidade para os veículos prioritários.

No caso de haver separador central, o movimento de atravessamento ou de viragem à esquerda poderá ser efectuado em duas faces, desde que o separador central tenha largura suficiente para albergar o veículo.

Caso II. Possibilidade de parar antes da intersecção (regra da prioridade à direita)

Numa intersecção sem qualquer sinalização reguladora, os condutores que se aproximam da intersecção devem dispor de distância de visibilidade suficiente para se avistarem mutuamente a tempo de evitarem colisões. Cada condutor tem três opções: acelerar, reduzir a velocidade ou parar. O tempo mínimo em que pode começar a desaceleração/aceleração do veículo (tempo de percepção mais tempo de reacção) é estimado em 2 segundos para as condições que ocorrem numa intersecção deste tipo.

A Figura 41, mostra a necessidade de dotar a intersecção com triângulos de visibilidade para o tráfego em movimento que permitam realizar em segurança as manobras de atravessamento ou de viragem à esquerda.

Nos triângulos de visibilidade as distâncias “ d ” e “ D ” vêm em função das velocidades de tráfego das respectivas estradas. Os seus valores são calculados através da equação da distância mínima de visibilidade de paragem, dada pela equação (1), e resumem-se no Quadro 3.

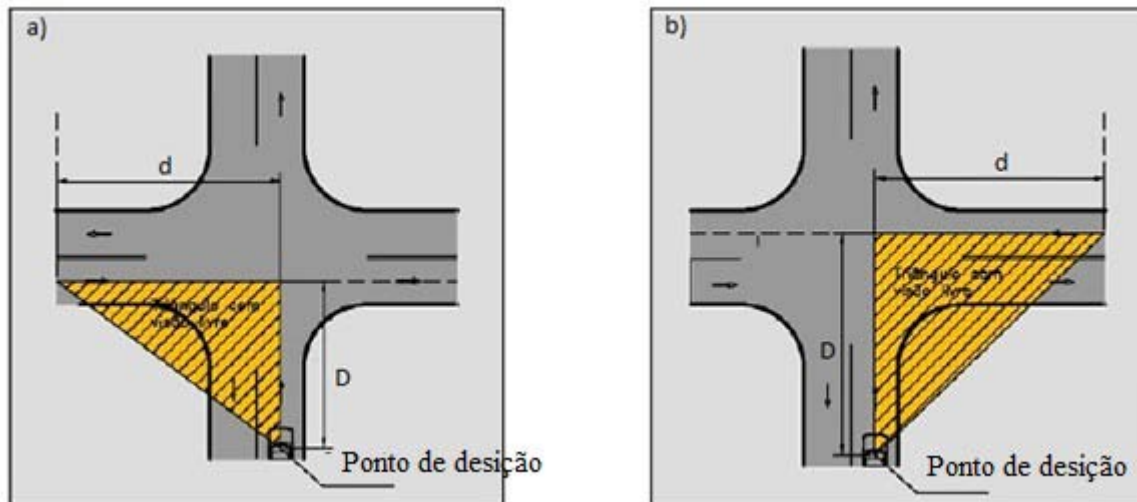


Figura 41 – Triângulo de visibilidade para o tráfego em movimento à esquerda e à direita (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).

Se não for possível cumprir estas distâncias mínimas de visibilidade, deve ser alterado o tipo de controlo na intersecção com o intuito de reduzir a velocidade de tráfego antes da intersecção. Uma das soluções passará pela aplicação de sinalização “STOP” na estrada adoptada como secundária.

Quando uma obstrução existente não poder ser removida, a maneira de obter o triângulo de visibilidade correspondente é limitar a velocidade de tráfego de uma das estradas mediante sinalização de aviso da velocidade praticada na estrada à distância “ d_b ” da intersecção, que é calculada com a seguinte fórmula: (ver Figura 42)

$$d_b = \frac{a \times d_a}{d_a - b} \quad (11)$$

com:

d_b – distância desde o sinal de aviso da velocidade praticada à intersecção [m]

a – quociente da largura da estrada principal pelo seno do ângulo da intersecção [m]

d_a – distância ao ponto de conflito [m]

Quando duas estradas se intersectam com um ângulo inferior a 60° e não se justifica a rectificação do traçado no sentido de melhorar o ângulo de intersecção, devem ser modificados alguns dos factores do triângulo de visibilidade. Na Figura 42 é apresentado o caso de uma intersecção de ângulo oblíquo θ com os respectivos triângulos de visibilidade. A distância AB ou BC é maior ou menor do que no caso normal para as correspondentes distâncias “ d_a ” e “ d_b ”, medidas ao longo da estrada.

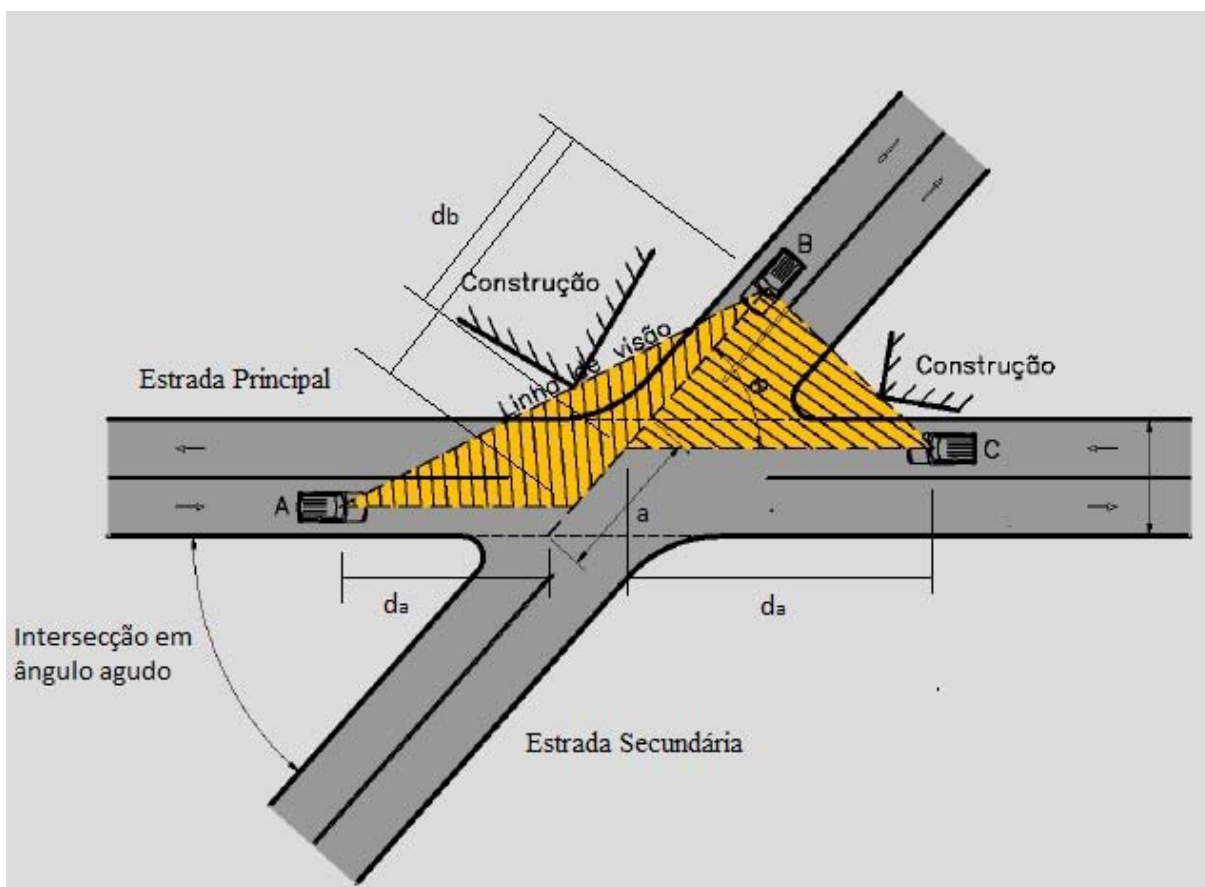


Figura 42 – Triângulo de visibilidade para tráfego em movimento em intersecções oblíquas (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

No quadrante de ângulo obtuso, o ângulo entre a linha AB com a trajectória do veículo é pequeno o que permite ao condutor total visibilidade da intersecção, com um ligeiro movimento de cabeça, pelo contrário, no quadrante adjacente é exigido aos condutores uma considerável rotação da cabeça para terem visibilidade suficiente. Neste tipo de situações aconselha-se a utilização de sinalização “STOP” na estrada secundária e as respectivas distâncias de visibilidade sobre a estrada principal.

4.4. A CONFIGURAÇÃO DA ESTRADA PRINCIPAL

4.4.1. LARGURA DAS FAIXAS DE RODAGEM NA ZONA DE INTERSECÇÃO

A largura da faixa de rodagem pode sofrer alterações nas intersecções. No caso de estradas de duas vias, deve-se alargar as vias na zona da intersecção para uma largura de 4,0 metros e considerar uma berma interior de 1,0 metro quando houver separador central. Nas estradas com 2x2 vias, mantêm-se a largura normal da faixa de rodagem em estrada corrente (geralmente 7,00 m), bem como as bermas.

Quadro 5 – Largura das faixas de rodagem de sentido único numa intersecção (quadro elaborado pela JAE P5/90).

Estrada Principal	Faixas de Rodagem		Bermas	
	Número de vias	Largura	Direita	Esquerda
2 Vias (a)	1 via	4,0	(b)	1,0
2 x 2 Vias	2 vias	7,0	(b)	(b)

(a) Aplica-se também se a estrada principal tiver três vias

(b) Igual à do perfil transversal tipo da estrada

4.4.2. VIAS DE ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO

4.4.2.1. GENERALIDADES

Os condutores que pretendem sair de uma estrada têm, normalmente, de reduzir a velocidade antes da saída. Por outro lado, os que entram numa estrada principal necessitam de acelerar até atingirem a velocidade de circulação nessa estrada. Se estas variações de velocidade forem efectuadas nas vias de tráfego directo da estrada principal, com intensidades de tráfego e velocidades elevadas, originam perturbações na corrente de tráfego reduzindo a capacidade de circulação e aumentando a sinistralidade na intersecção. Consequentemente, para assegurar a segurança e a comodidade dos condutores que circulam na estrada principal devem, em princípio, considerar-se nos projectos de intersecções, vias de aceleração e de desaceleração, nas quais serão efectuadas as referidas variações de velocidade.

As vias de variação de velocidade são vias auxiliares com o propósito de proporcionar espaço suficiente aos condutores dos veículos, para que possam realizar manobras de aceleração ou desaceleração sem provocar conflitos ou interferências com o fluxo de tráfego directo. Estas vias devem ter largura e comprimento suficiente para a execução das variações de velocidade.

As vias de desaceleração são bastante vantajosas, principalmente em estradas de velocidades elevadas. Os condutores que pretendam sair da estrada têm que reduzir a velocidade dos veículos. Para tal devem dispor de vias de desaceleração para reduzir a velocidade e evitar colisões traseiras resultantes da falta de atenção de outros condutores ou de falhas na frenagem.

A consideração destas vias depende de muitos factores, tais como: velocidades, volumes de tráfego, percentagem de veículos pesados, capacidade pretendida na intersecção, importância das estradas que se intersectam e distância média entre as intersecções. Observações e estudos permitiram chegar as seguintes conclusões:

- as vias de variação de velocidade são necessárias em intersecções de estradas com velocidades e volumes de tráfego elevados especialmente tráfego pesado;
- os condutores não usam as vias de variação de velocidade todos da mesma maneira. Alguns utilizam apenas parte delas, no entanto basta que a maioria dos condutores as utilize devidamente para melhorar as condições de segurança e trafegabilidade;
- a boa utilização das vias de aceleração e desaceleração depende dos volumes de tráfego, verificando-se que é tanto melhor quanto mais elevados são os volumes. Para grandes intensidades de tráfego a maioria dos condutores utiliza correctamente;

- as vias de desaceleração com função de armazenamento e espera de veículos nas viragens à esquerda na estrada principal são particularmente vantajosas em intersecções de nível, pois reduzem os conflitos e aumentam a capacidade da estrada.

Tendo em atenção estas conclusões e as características técnicas das estradas nacionais, definidas no Plano Rodoviário Nacional, apresentam-se no Quadro 6 as situações onde devem ser adoptadas vias de aceleração e desaceleração segundo as classes funcionais das intersecções (importância da intersecção).

No quadro são apresentadas as classificações das intersecções segundo a sua funcionalidade, esta depende da importância das estradas que se intersectam, a nomenclatura utilizada está representada na Figura 9. Considera-se a utilização de vias de aceleração e desaceleração com um “sim” ou se não, com um “não”. Porém, não se deve encarar as considerações feitas no quadro como rígidas, deverá ser sempre feita uma análise mais detalhada de todas as condicionantes na intersecção em estudo.

Quadro 6 – Adopção de vias de aceleração e desaceleração consoante a classificação funcional das intersecções (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).

Estrada	Intersecções de nível					
	23	24	25	33	34	35
Principal	sim	sim	sim	sim *	sim*	sim*
Secundária	não	não	não	não	não	não

* Quando devidamente justificadas em função dos volumes de tráfego

Nas intersecções controladas por sinalização de estrada com prioridade ou paragem obrigatória, que é o caso, não é necessária, em princípio, a utilização de vias de aceleração, pois os veículos que desejam entrar na estrada principal devem aguardar uma oportunidade que lhes permita efectuar essa manobra sem interferirem com a corrente de tráfego directo. As vias de aceleração são vantajosas em vias onde não é necessário aguardar uma oportunidade de entrada e onde os volumes de tráfego são elevados. Contudo, não devem ser postas de parte intersecções de nível com vias de aceleração, pois permitem um melhor desempenho da intersecção, aumentando a sua capacidade.

As vias de variação de velocidade podem ser do tipo directo/diagonal ou paralelo. Designam-se de directas sempre que as mesmas se desenvolvam em forma de bisel alongado, e consequentemente apresentem larguras de via variáveis entre a secção de início da via (onde assumem habitualmente 1,0 metro de largura) e a secção tangente à curva de concordância com a estrada secundária (ver Figura 44). As do tipo paralelo apresentam um troço de largura constante cujo traçado é paralelo ao da via principal (ver Figura 47). Ambos os tipos são satisfatórios, quando devidamente projectados.

4.4.2.2. VIAS DE DESACELERAÇÃO

São vias destinadas à redução da velocidade, com o objectivo de permitir ao veículo que sai da via principal a diminuição da sua velocidade para uma velocidade segura e compatível com as características da estrada que se segue, sem interferir com os veículos que vêm imediatamente atrás.

No cálculo da extensão total de desaceleração, para as vias de desaceleração, deve-se ter em conta o raio da curva de concordância com a estrada secundária, pois é ele que dita a velocidade base da curva e não o inverso. Isto porque, em intersecções de nível, normalmente, são as condições físicas “in loco”

que restringem a liberdade do traçado. Portanto, o projectista deve fixar um determinado raio a ser usado na curva de concordância, atendendo as condições do local e as condicionantes do projecto.

Outro aspecto condicionante no cálculo da velocidade base da curva de concordância, é a sobreelevação a implantar, visto que, normalmente, é difícil de implantar a sobreelevação sem mudanças abruptas da inclinação transversal, devido a raios pequenos e extensões reduzidas. Havendo especial dificuldade quando a estrada principal se encontra em curva côncava em relação à intersecção. Por tudo isto, em intersecções de nível é aconselhável a utilização de uma sobreelevação de 5%. Em 4.5.3.2, é referido com maior pormenor o porquê deste valor.

Como se constatou oportunamente, em 4.3.2, para uma trajectória rectilínea, a aderência está intrinsecamente relacionada com a aceleração, e ambas definem a força a que o veículo e seus ocupantes estão sujeitos. Como tal, sugerem-se como elementos básicos para caracterizarem o conforto e segurança dos passageiros nas variações do movimento dos veículos. Há agora necessidade de fazer a mesma dedução mas agora para uma trajectória curvilínea, considerando que o veículo circula a uma velocidade constante.

Ao circular em curva surge a força centrífuga de valor:

$$F_c = m \times a_c \quad (12)$$

como:

$$a_c = \frac{v^2}{R} \quad (13)$$

temos:

$$F_c = m \times \frac{v^2}{R} \quad (14)$$

considerando a sobreelevação em curva, de valor Se , pode-se concluir:

$$m \times a_c = m \times \frac{v^2}{R} - m \times g \times \frac{Se}{100} \quad (15)$$

portanto, a_c representa a aceleração não compensada exercida sobre o veículo em movimento, podendo a força centrífuga ser representada pela força de atrito, devido à aderência transversal, tal que:

$$Fa = m \times g \times f_t \quad (16)$$

logo:

$$\frac{v^2}{R} - g \times \frac{Se}{100} = g \times f_t \quad (17)$$

com:

F_c – força centrífuga [N]

a_c – aceleração centrífuga [m/s^2]

v – velocidade [m/s]

R – raio [m]

Se – sobreelevação [%]

Fa – força de atrito [N]

f_t – coeficiente de aderência transversal [N/N]

Conclui-se portanto, que em trajectória curvilínea a aceleração centrífuga não compensada e a aderência transversal estão directamente dependentes.

A norma JAE P3-91 fixa o valor do coeficiente de aderência transversal em 0,22 N/N como o valor máximo que ainda garante a segurança e comodidade na curva para velocidades base inferiores a 80 km/h, que são as utilizadas em intersecções de nível. Neste trabalho é adoptado este valor para todos os cálculos a ele implícitos.

Os valores da velocidade admissível nas curvas das concordâncias em intersecções vêm em função do raio horizontal escolhido pelo projectista, como já se referiu, do coeficiente de aderência transversal e da sobrelevação, que permite diminuir a força centrífuga não compensada, segundo a equação (17).

$$\frac{v^2}{R} - g \times Se = g \times f_t \quad (18)$$

transportando v para km/h:

$$\frac{V^2}{3.6^2 R} = g \times f_t + g \times Se \quad (19)$$

resolvendo em ordem a V :

$$V^2 = (g \times f_t + g \times Se) \times 3.6^2 \times R \quad (20)$$

considerando $g=10 \text{ m/s}^2$:

$$V = \sqrt{127 \times R \times (f_t + Se)} \quad (21)$$

No Quadro 7 são apresentadas as velocidades admissíveis nas curvas das concordâncias em intersecções, em função do seu raio. Foi considerada para o cálculo uma sobrelevação de 5%, pois é o aconselhável em intersecções de nível.

Tendo a velocidade admissível na curva da concordância da intersecção, que neste caso representa a velocidade máxima no final da via de desaceleração, resta agora o cálculo da extensão total de desaceleração, que vem em função da diferença de velocidades entre a velocidade base da estrada principal e a velocidade máxima no final da via de desaceleração.

Para o cálculo da distância total de desaceleração considerou-se que o movimento dos veículos é rectilíneo, aquando da desaceleração, e que os condutores mantêm uma desaceleração constante. Portanto, foi utilizada a função horária de posição do movimento rectilíneo uniformemente retardado, adaptada à situação, que é:

$$S = v_0 \times t - \frac{1}{2} \times j \times t^2 \quad (22)$$

sendo a sua derivada a função horária de velocidade no movimento rectilíneo uniformemente retardado:

$$v_c = v_0 - j \times t \quad (23)$$

transportando v_0 para km/h:

$$S = \frac{V_0}{3,6} \times t - \frac{1}{2} \times j \times t^2 \quad (24)$$

e:

$$V_c = \left(\frac{V_0}{3,6} - j \times t\right) \times 3,6 \quad (25)$$

com:

S – extensão total de desaceleração [m]

V_0 – velocidade base na estrada principal [km/h]

t – tempo de desaceleração necessário [s]

j – desaceleração [m/s^2]

V_c – velocidade máxima no final da via de desaceleração [m/s]

Com estas duas funções faz-se então o cálculo da extensão total mínima da via de desaceleração. Com a expressão (25), e sabendo a velocidade base da estrada principal e a velocidade máxima no final da via de desaceleração, determino o tempo de desaceleração necessário. Depois com a expressão (24) calcula-se a extensão total da desaceleração, pois tenho o tempo da sua duração e tenho a velocidade inicial do veículo que é a velocidade base da estrada principal. No Quadro 7 são apresentados os valores das extensões de desaceleração calculados neste trabalho.

A desaceleração considerada para o cálculo foi de $1,5 \text{ m/s}^2$, que é uma travagem que oferece comodidade aos condutores e vai de encontro com as capacidades de frenagem dos veículos pesados.

Teoricamente, as extensões das vias de desaceleração deveriam medir-se desde o ponto onde os veículos começam a reduzir a sua velocidade. No entanto, isto levaria a extensões de desaceleração difíceis de obter. Por isso, considera-se, graças à sinalização e as características do traçado nas intersecções, que os condutores preparam a sua saída da estrada principal antes de encontrar a via de desaceleração, iniciando uma redução de velocidade, sem empregar os travões, prevenindo a manobra a realizar. Para ter em conta estas condições nos cálculos efectuados neste trabalho, considere reduções de velocidade na estrada principal até 20 km /h. Essas reduções mostram-se na Figura 43, bem como a função que as representa.

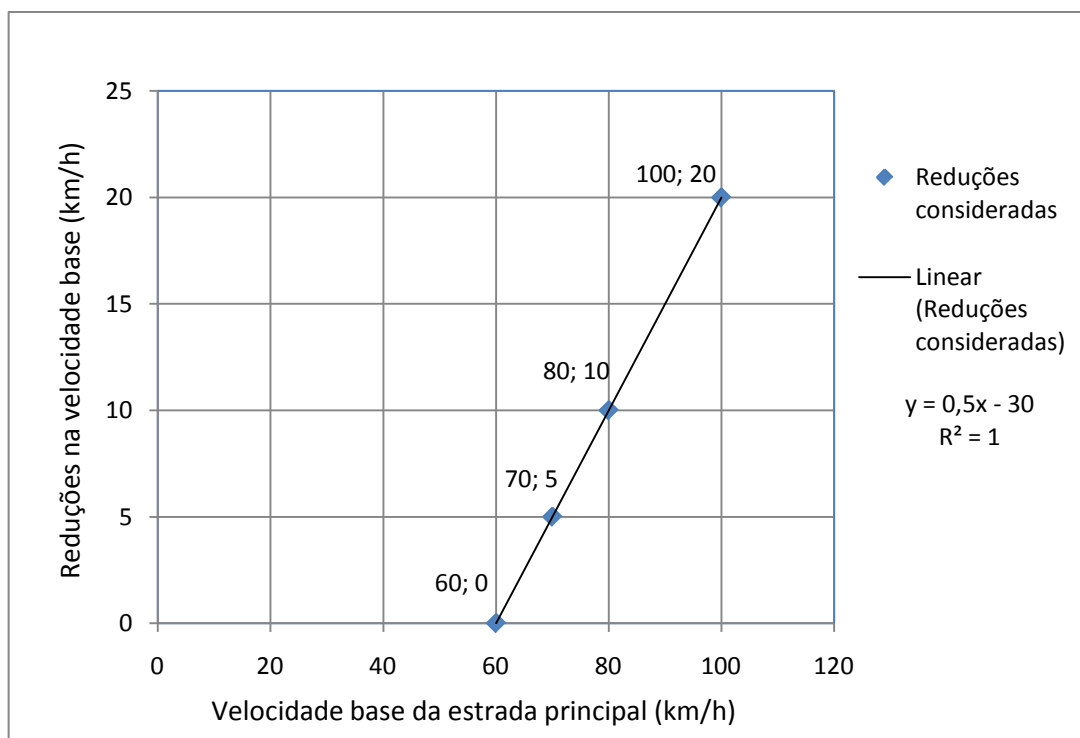


Figura 43 – Reduções de velocidade em plena estrada prioritária por parte de condutores que pretendam sair da mesma (gráfico elaborado pelo autor para este trabalho).

Quadro 7 – Extensão total mínima das vias de desaceleração em interseções de nível (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).

Raio da concordância (m)	"STOP"	15	20	25	40	50	75
Velocidade na concordância (km/h)		20	25	30	35	40	50
Velocidade base da estrada principal (km/h)	Extensão total da via de desaceleração (EB) (m)						
40	40	35	25	20	15	-	-
50	65	55	50	40	35	25	-
60	90	85	80	70	65	50	30
70	110	100	90	85	80	75	50
80	125	115	110	100	95	90	65
100	165	155	150	140	130	125	110

Os valores indicados no Quadro 7 para a extensão do bisel foram calculados para rasantes sensivelmente horizontais. Como tal, o valor da extensão deve ser corrigido devido à inclinação da rasante, adoptando-se um factor de correcção superior a um se o traínel é descendente ou inferior a um no caso contrário. Os factores de correcção são dados pelo Quadro 8.

Quadro 8 – Factores de correcção para a extensão das vias de desaceleração devidos à inclinação da rasante (quadro elaborado pela JAE P5/90).

Inclinação da rasante	Rampa	Declive
3 a 4%	0,9	1,2
5 a 6%	0,8	1,35

4.4.2.2.1. VIRAGENS À DIREITA

O traçado mais favorável para as vias de desaceleração de viragem à direita é o tipo directo, definido de acordo com a trajectória dos veículos na saída. A Figura 44 mostra o esquema do traçado destas vias.

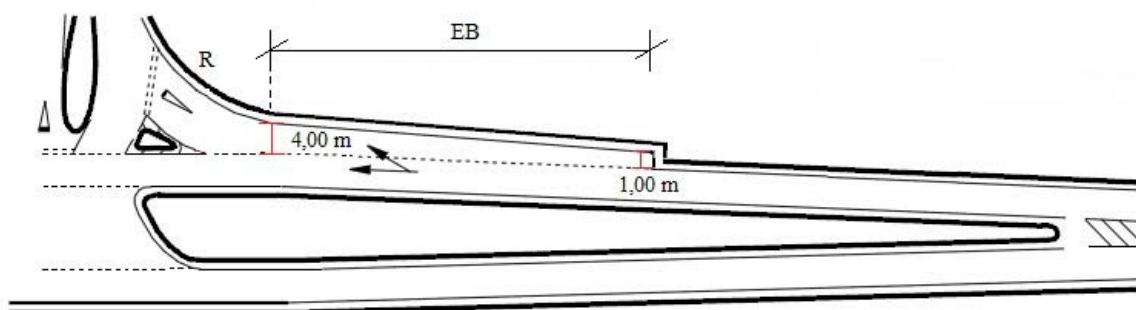


Figura 44 – Via de desaceleração para viragens à direita (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

As vias de desaceleração deste tipo são constituídas por um bisel de saída rectilíneo de largura variável, com variação positiva no sentido da saída. O bisel inicia-se à largura de 1,0 metro do bordo exterior da estrada principal, para assinalar de forma clara a sua existência aos condutores, e terminam no ponto de tangência com a curva de transição ou no do arco circular se não forem consideradas curvas de transição na concordância.

No Quadro 9 apresenta-se a extensão total das vias de desaceleração (EB) considerada na norma JAE P5/90, em função da velocidade base da estrada principal e do raio da curva de concordância de saída à direita.

Quadro 9 – Extensão do bisel das vias de desaceleração do tipo directo em intersecções de nível (quadro elaborado pela JAE P5/90).

Velocidade Base (km/h)	≤ 90	100
Raio da curva (m)	≥ 15	≥ 25
Bisel (EB) (m)	80	110

Constata-se, no Quadro 9, a escassez de valores que a norma portuguesa apresenta para a extensão das vias de desaceleração de viragem à direita em intersecções de nível.

De realçar que os valores calculados neste trabalho para as extensões das vias de desaceleração (Quadro 7), são mais conservadores do que os da norma JAE P5/90, pois apresentam extensões maiores para os mesmo raios e velocidades. Conclui-se assim, pela dedução do método de cálculo e pelas variáveis consideradas nesse cálculo, que as extensões de desaceleração apresentadas na norma são insuficientes para garantir uma desaceleração cómoda e segura.



Figura 45 – Via de desaceleração para viragens à direita na estrada N4 (fotografia tirada pelo autor para este trabalho).

As normas inglesas são ainda menos exigentes em relação à extensão de desaceleração (EB), sendo que neste caso o comprimento destas vias é definido em função da velocidade base, da inclinação dos traínéis da estrada principal, e do perfil transversal tipo (2 vias ou 2x2 vias). Os valores a utilizar para a extensão do bisel (EB) em estradas de duas vias segundo a norma inglesa TD 42/95 são os apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Extensão do bisel (EB) das vias de desaceleração do tipo directo em estradas de duas vias segundo a norma inglesa (quadro elaborado pela TD 42/95).

Velocidade base da estrada principal (km/h)	Extensão do bisel (EB) (m)			
	Traínel ascendente		Traínel descendente	
	0 - 4%	> 4%	0 - 4%	> 4%
50	25	25	25	25
60	25	25	25	25
70	40	25	40	40
85	55	40	55	55
100	80	55	80	80

Na análise da possibilidade de implementação destas vias de desaceleração há que ter em conta os volumes relativos ao tráfego directo e aos que efectuem viragens à direita. A norma portuguesa JAE P5/90 fornece um ábaco que permite a análise das várias soluções de aplicabilidade das vias de desaceleração em viragens à direita, que de resto se mostra na Figura 46. Já a norma inglesa TD 42/95 prevê a implantação destas vias se um dos pressupostos seguintes for cumprido:

- velocidade base superior a 85 km/h;
- TMDA da viragem à direita superior a 600 veículos ou superior a 450 veículos quando a percentagem de pesados for superior a 20%;
- TMDA da via prioritária superior a 7000 veículos;
- a inclinação longitudinal dos traínéis for superior a 4%;
- a melhoria nas condições de segurança e funcionamento da intersecção for significativa.

Pelo contrário, a via de desaceleração é desaconselhada para:

- cruzamentos sem canalização do tráfego;
- velocidade base menor do que 85 km/h;
- estrada secundária em curva;
- custo a elas associado for demasiado elevado.

Como se tem vindo a referir, à que estudar cada intersecção em particular e seus condicionalismos, sendo assim estas metodologias de implementação de vias de desaceleração assumem um papel de estudo da intersecção, não tendo que ser cumpridas rigidamente.

A largura das vias de desaceleração deste tipo depende da sobrelargura da curva, não devendo ser inferior a 4,00 metros. A berma direita deverá ter a mesma largura que a da estrada secundária, devendo no mínimo ser de 1,50 metros. Se existir lancil, a largura da via deverá ser aumentada de 0,50 metros.

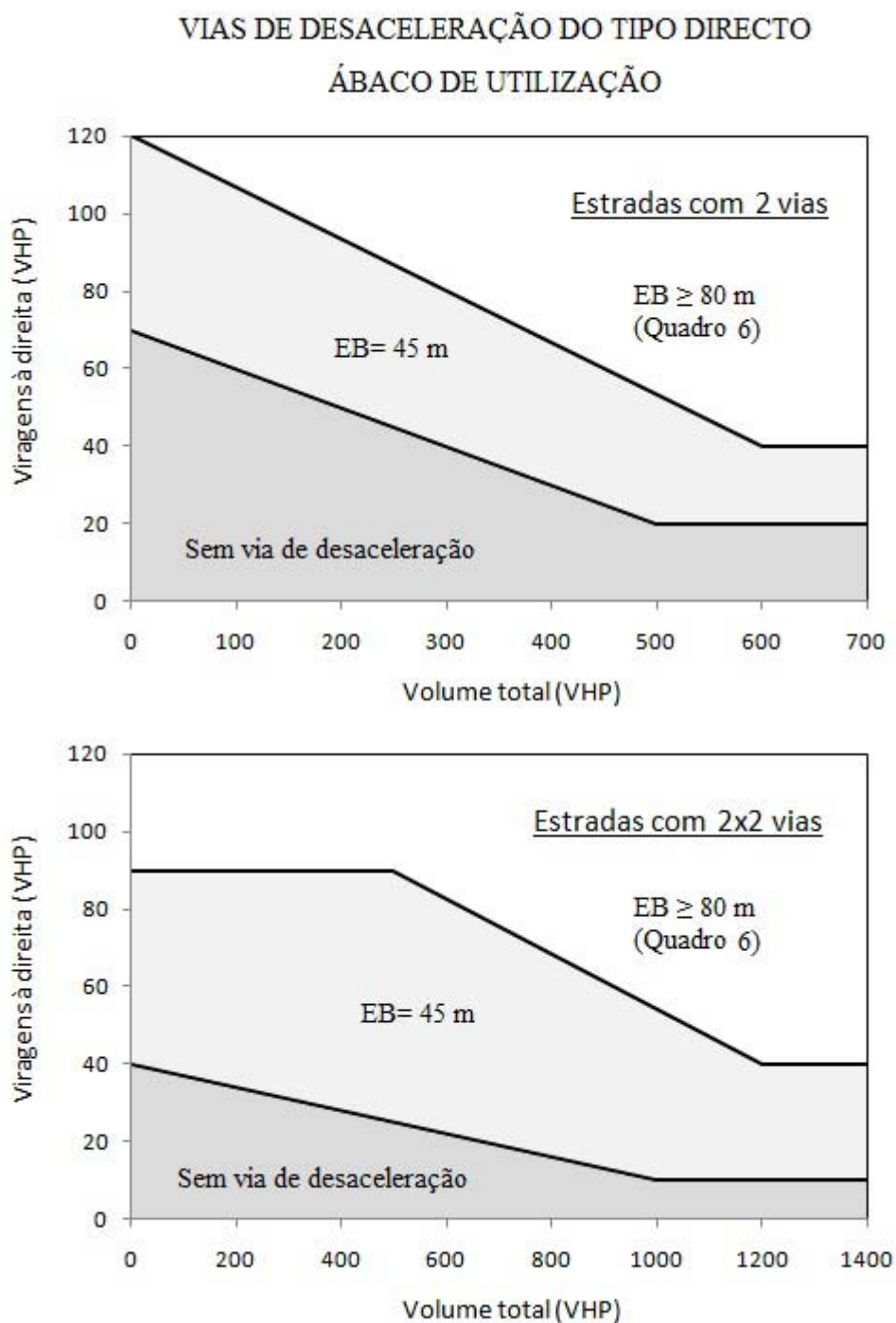


Figura 46 – Aplicabilidade das vias de desaceleração do tipo directo para viragens à direita (ábacos da norma JAE P5/90).

4.4.2.2.2. VIRAGENS À ESQUERDA

As vias de viragem à esquerda são introduzidas nas intersecções com o objectivo de permitirem a desaceleração e armazenagem dos veículos que desejam executar a viragem à esquerda na estrada principal, contribuindo para o aumento de capacidade, melhoria da operação e da segurança na intersecção.

Os veículos que viram à esquerda têm grande impacto na operação de uma intersecção, mesmo sendo uma pequena parte do fluxo total. Um veículo que pretenda virar à esquerda tem que reduzir a sua velocidade e se necessário parar e esperar por um intervalo na passagem no tráfego de sentido contrário, criando um obstáculo aos veículos que lhe sucedem. Com o aumento do fluxo da corrente contrária, são reduzidos os intervalos de passagem, cresce o tempo de espera e a fila atrás do veículo que faz a viragem. De facto, um número pequeno de veículos virando à esquerda pode bloquear a intersecção, se os intervalos de passagem disponíveis forem poucos. A solução a longo prazo será sempre a inclusão de vias exclusivas para viragens à esquerda, desimpedindo assim o tráfego directo.

Devido ao elevado grau de impacto das viragens à esquerda numa intersecção, é importante que se faça uma análise mais detalhada destas viragens em relação a outras, neste trabalho.

Segurança

O uso de vias exclusivas para viragens à esquerda reduz efectivamente o número de acidentes por colisões traseiras ou laterais nas intersecções.

Vias de viragem à esquerda implantadas em 40 intersecções urbanas e rurais na Califórnia, Estados Unidos, reduziram significativamente os acidentes em intersecções, como é mostrado no Quadro 11.

Quadro 11 – Redução de acidentes nas intersecções com faixas de viragem à esquerda (quadro extraído do “Simple Types of Intersection Improvements”, James E. Wilson, HRB Special Report, No. 93.).

Tipo de acidentes	Número de acidentes		Percentagem (%)
	Antes	Depois	
Viragem à esquerda	52	33	-37
Colisão traseira	164	24	-87
Abalroamento lateral	39	60	50
Outros	58	45	-22
Total	313	162	-50

Critérios para determinação da necessidade de vias exclusivas de viragem à esquerda

Em estradas da Rede Nacional devem-se dotar sempre as intersecções de nível com vias de viragem à esquerda, com separador materializado ou demarcado. Contudo, detalham-se neste tópico os critérios que levam à implantação de tais vias nas estradas em geral.

No caso de intersecções urbanas a necessidade de acrescentar vias específicas para viragens à esquerda vem em função dos volumes de tráfego da estrada, do volume de tráfego a efectuar viragens, da intensidade da corrente contrária, das condições de segurança da intersecção, e da demora aceitável para o tráfego directo que é bloqueado pelo tráfego de viragem. Nas intersecções rurais os volumes de tráfego são geralmente menores, e portanto há menos conflitos com os veículos que viram à esquerda. Por outro lado, o tráfego rural costuma ter velocidades mais elevadas, requerendo maiores intervalos

de passagem no tráfego contrário para os veículos que aguardam oportunidade de viragem, aumentando o potencial e a gravidade dos acidentes, devido a maiores velocidades do tráfego directo. Por essa razão, a necessidade de vias de viragem à esquerda em áreas rurais deve ser baseada mais nas condições de segurança do que nos volumes de tráfego.

As normas portuguesas não aconselham nenhuma metodologia de cálculo para averiguar a necessidade de vias de viragem à esquerda, sendo apenas aceite entre os especialistas que estas devem ser utilizadas sempre que o volume de viragem à esquerda for maior que 100 veic/hora e o tráfego em sentido contrário maior que 450 veic/hora ou o inverso.

De um modo geral devem ser seguidas as recomendações da AASHTO para determinar a necessidade de vias de viragem à esquerda em estradas principais. O Quadro 12 é uma consolidação dos gráficos de Harmelink desenvolvidos em 1967 e baseados na teoria das filas de espera. Este permite orientar quanto à conveniência de dotar a intersecção de tais vias.

De acordo com o Quadro 12, para um volume de tráfego contrário de 800 veic/h, velocidade base de 60 km/h, percentagem de 5% de viragens à esquerda (95% de tráfego directo), deve ser projectada uma via exclusiva de viragem à esquerda quando o volume de tráfego da viragem exceder 330 veic/h.

Quadro 12 – Orientação para a adopção de faixas de viragem à esquerda em estrada principais (quadro extraído do livro da AASHTO).

Volume contrário (veic/h)	Volume da viragem (veic/h)			
	Percentagem de viragens à esquerda			
	5%	10%	20%	30%
Velocidade base = 60 Km/h				
800	330	240	180	160
600	410	305	225	200
400	510	380	275	245
200	640	470	350	305
100	720	515	390	340
Velocidade base = 80 Km/h				
800	280	210	165	135
600	350	260	195	170
400	430	320	240	210
200	550	400	300	270
100	615	445	335	295
Velocidade base = 100 Km/h				
800	230	170	125	115
600	290	210	160	140
400	365	270	200	175
200	450	330	250	215
100	505	370	275	240

Estudos elaborados por Harwood e Hoban (Low Cost Methods Institute, Report FHWA/IP, 1987) mostram que em estradas sem vias de viragem à esquerda, com até 400 veículos por hora nos dois sentidos, são desprezáveis os atrasos do tráfego directo, crescendo estes significativamente para volumes acima de 1200 veículos por hora. O HCM apresenta metodologias para determinar a capacidade das intersecções, incluindo vias de viragem à esquerda de uso comum e exclusivo.

Critérios de projecto

As vias exclusivas para viragem à esquerda são centrais e devem ser do tipo paralelo (Figura 47), com uma largura de 3,50 metros.

Uma via exclusiva para viragens à esquerda é central, pois é incluída entre as faixas de tráfego directo contrárias. Isso consegue-se através do alargamento da estrada ou da utilização do separador central para a materializar.

O dimensionamento destas vias vem em função da velocidade base da estrada principal, e é feito de modo a permitir a desaceleração e travagem dos veículos em condições aceitáveis de comodidade e em segurança.

Estas vias são constituídas por três partes: bisel, extensão de desaceleração e comprimento adicional necessário à stockagem dos veículos que aguardam na via por uma oportunidade para atravessar a corrente contrária.

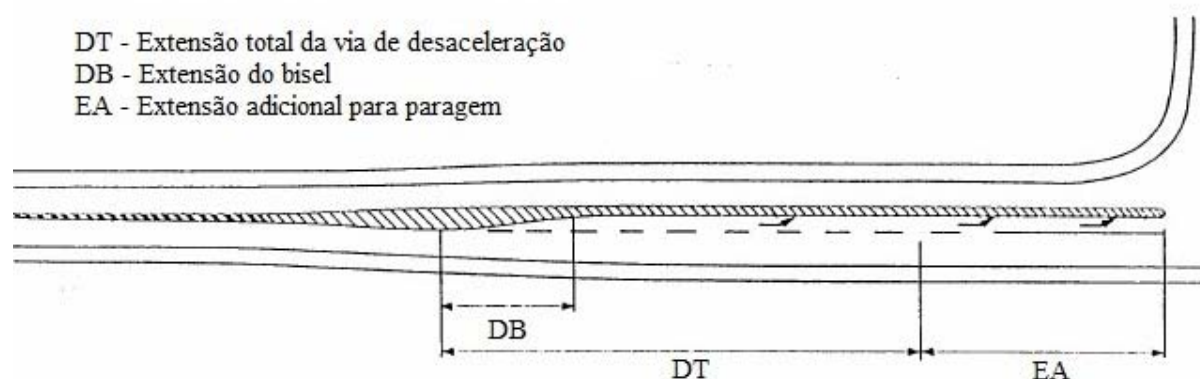


Figura 47 – Via exclusiva para viragem à esquerda do tipo paralelo (extractos da norma JAE P5/90).

A função da geometria do bisel é essencialmente de orientação óptica, não tendo que corresponder à trajectória dos veículos. O traçado mais conveniente para o bisel do tipo paralelo é uma curva e contracurva, tal como mostra a Figura 48. A sua extensão é a indicada no Quadro 13, bem como os raios a utilizar na sua configuração, tendo sido considerado neste trabalho raios iguais para a curva e contracurva no sentido de favorecer a homogeneidade do traçado.

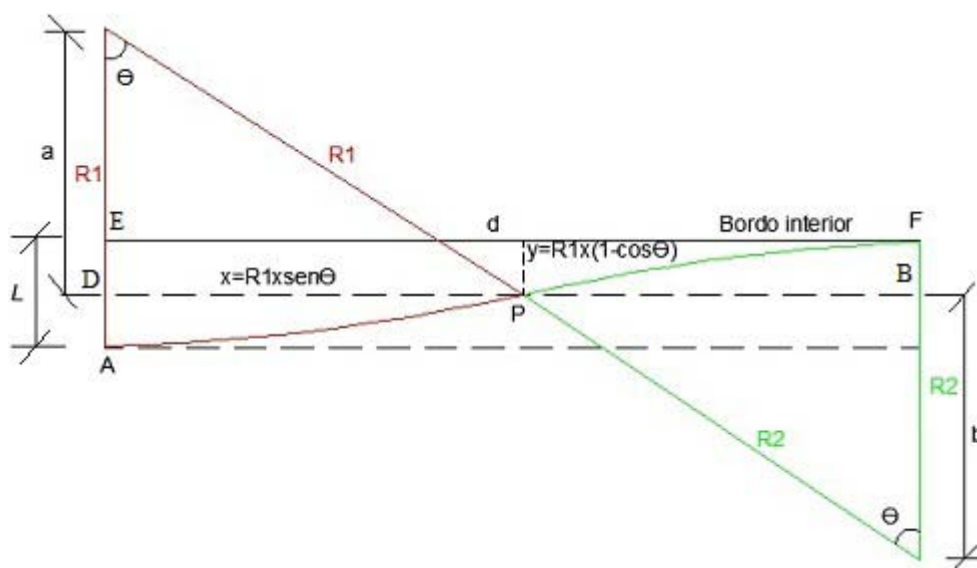


Figura 48 – Construção do bisel de curva e contra-curva (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

O cálculo do raio da curva e contra-curva, atendendo ao exposto na Figura 48, é feito através da seguinte dedução:

analisando a Figura 48, vem:

$$(R1 + R2) \times \text{sen}(\Theta) = DB \quad (26)$$

que resulta em:

$$(R1 + R2) = \frac{DB}{\text{sen}(\Theta)} \quad (27)$$

Resta agora encontrar o valor de Θ , que é o que se demonstra a seguir:

analisando mais uma vez a Figura 48, vem:

$$a + b = R1 + R2 - L \quad (28)$$

ou ainda:

$$a + b = R1 \times \text{cos}(\Theta) + R2 \times \text{cos}(\Theta) \quad (29)$$

igualando:

$$(R1 + R2) \times \text{cos}(\Theta) = R1 + R2 - L \quad (30)$$

reduzindo, vem:

$$(R1 + R2) \times (1 - \text{cos}(\Theta)) = L \quad (31)$$

eliminando $R1$ e $R2$ na expressão, através da expressão (26):

$$\frac{(R1+R2) \times (1 - \text{cos}(\Theta))}{(R1+R2) \times \text{sen}(\Theta)} = \frac{L}{DB} \quad (32)$$

vem:

$$\frac{(1-\cos(\theta))}{\text{sen}(\theta)} = \frac{L}{DB} \quad (33)$$

aplicando as fórmulas de trigonometria, de duplo ângulo no numerador e a de substituição de somas por produtos no denominador, resulta:

$$\frac{(1-\cos^2(\frac{\theta}{2})-\text{sen}^2(\frac{\theta}{2}))}{2 \times \text{sen}(\frac{\theta}{2}) \times \cos(\frac{\theta}{2})} = \frac{L}{DB} \quad (34)$$

sendo assim pelo Teorema de Pitágoras, aplicado ao numerador, resulta:

$$\frac{2-\text{sen}^2(\frac{\theta}{2})}{2 \times \text{sen}(\frac{\theta}{2}) \times \cos(\frac{\theta}{2})} = \frac{L}{DB} \quad (35)$$

reduzindo e resolvendo em ordem a θ :

$$\theta = 2 \times \text{Arctg}\left(\frac{L}{DB}\right) \quad (36)$$

com:

$R1$ – raio da curva [m]

$R2$ – raio da contra – curva [m]

DB – extensão do bisel [m]

L – largura da via de desaceleração de viragem à esquerda [m]

Com o valor de θ é possível calcular a soma dos raios dada pela expressão (27). Considerando-os iguais determina-se finalmente os valores de $R1=R2$ ou então fixa-se um dos raios e calcula-se o outro.

É ainda possível determinar as coordenadas do ponto de tangência das curvas (P), senão vejamos:

através da análise da Figura 48 consegue-se deduzir as coordenadas do ponto de tangência das curvas, sendo:

$$x_p = R1 \times \text{sen}(\theta) \quad (37)$$

$$y_p = R1 \times (1 - \cos(\theta)) \quad (38)$$

Como já foi referido, numa viragem à esquerda a partir da estrada principal o condutor de um veículo deve reduzir a sua velocidade e, se necessário, parar, até que encontre um intervalo na corrente de tráfego directo contrário suficiente para fazer a travessia em condições de segurança. Portanto, esta manobra será sempre sinalizada com um sinal de cedência de paragem ou “STOP”, interferindo a

sinalização no modo de dimensionamento das vias de desaceleração de viragem à esquerda, pois agora a velocidade que se considera no final da via de desaceleração é zero. Assegurado-se assim a segurança no movimento de viragem. No cálculo das extensões de desaceleração, efectuado neste trabalho e representado no Quadro 7, já foi considerada esta situação.

No cálculo da extensão de desaceleração para as viragens à esquerda (DT), a norma portuguesa admite que os condutores desaceleram durante três segundos e seguidamente travam com comodidade, manobras estas que serão efectuadas exclusivamente na via de viragem à esquerda. A extensão de desaceleração da via para o tipo paralelo segundo a norma JAE P5/90 e segundo os cálculos efectuados neste trabalho estão representadas no Quadro 13.

Quadro 13 – Extensão total de desaceleração e bisel para as vias de desaceleração de viragem à esquerda (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).

Velocidade base (km/h)	60	80	100
Extensão de desaceleração (DT) - JAE P5/90 (m)	95	130	170
Extensão de desaceleração (DT) - calculada (m)	90	125	165
Bisel (DB)	50	50	60
Raio da curva e contra-curva (R1 e R2) (m)	360	360	515

Na análise do quadro verifica-se que a norma apresenta valores ligeiramente superiores aos calculados neste trabalho, ao contrário do que tinha acontecido para os valores das extensões da via de desaceleração nas viragens à direita. Há no entanto um reparo a fazer. Como foi dito atrás, a norma portuguesa considera que os veículos executam a desaceleração apenas dentro da via de viragem à esquerda, o que não corresponde à realidade, pois é sabido que os condutores que pretendem sair da estrada principal ajustam a velocidade do veículo prevenindo a sua saída. Sendo assim, e tendo como base de fundamentação os cálculos efectuados e as variáveis adoptadas, considera-se que se devem utilizar as extensões calculadas neste trabalho, pois são suficientes para permitirem a segurança e comodidade e tornam-se mais económicas do que as preconizadas na norma.

Tal como é referido para o Quadro 7, também os valores apresentados no Quadro 13 devem ser corrigidos devido à influência da inclinação da rasante, através do Quadro 8.

Há ainda a considerar a extensão da via necessária à paragem dos veículos que desejam efectuar essas viragens (EA), a qual depende directamente do seu volume horário de projecto das viragens à esquerda. No Quadro 14 refere-se a extensão aconselhável a utilizar.

Quadro 14 – Extensão adicional para paragem dos veículos (quadro elaborado pela JAE P5/90).

VOLUME HORÁRIO DE PROJECTO (viragens à esquerda)	30	60	100	200	300
EXTENSÃO ADICIONAL (EA)	8	15	30	60	75

As vias exclusivas de viragem à esquerda devem ser demarcadas com marcas no pavimento e materialidades pelos separadores centrais que as albergam, com o intuito de ser identificada, adequadamente, a transição a partir da faixa unidireccional de uso comum (Figura 49).

Quando o espaço disponível é limitado, pode adoptar-se sinalização horizontal para a materialização das vias de viragem à esquerda (Figura 57), sendo porém necessário que essa sinalização se mantenha sempre em bom estado de conservação.



Figura 49 – Via exclusiva para viragem à esquerda materializada, na estrada N118 (fotografia tirada pelo autor para este trabalho).

Vias de viragem à esquerda deslocadas

Em cruzamentos com vias de viragem à esquerda, os condutores que estão a aguardar oportunidade de virar à esquerda podem bloquear a visibilidade do tráfego directo aos condutores que pretendam fazer a mesma manobra mas em sentido oposto (Figura 50).



Figura 50 – Obstrução de visibilidade causada por veículos parados na via de viragem à esquerda (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

Uma solução para este problema, muito utilizada nos E.U.A, é deslocar paralelamente as vias de viragem para o interior do separador central, como exemplificado na Figura 51. As vantagens obtidas são:

- melhor visibilidade sobre o tráfego directo que vem em sentido contrário;
- maior número de viragens à esquerda num mesmo período de tempo.

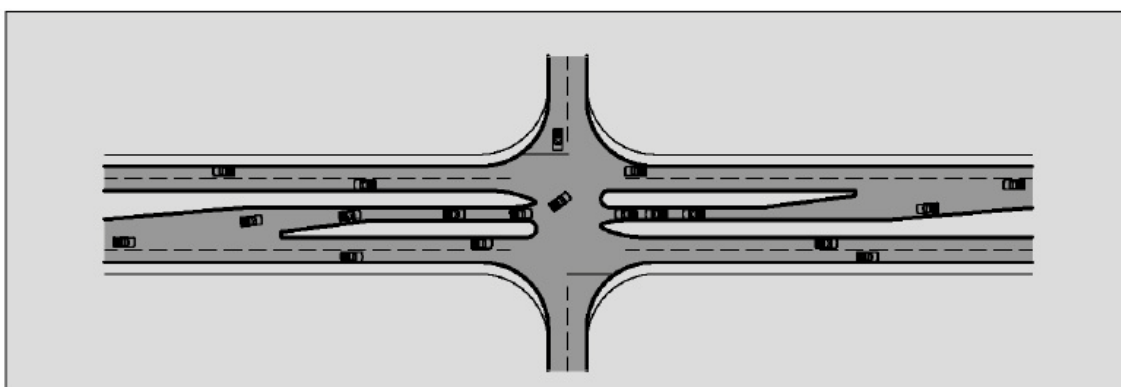


Figura 51 – Vias exclusivas de viragem à esquerda deslocadas (extractos do “Manual de projecto de intersecções” do DNIT, 2005, Brasil).

Algumas das desvantagens da utilização das vias de viragem à esquerda deslocadas são:

- espaço ocupado e o custo associado;
- pouca familiaridade dos condutores com as faixas deslocadas;
- dificuldade de inversão de marcha tanto para os condutores como para veículos de emergência;
- não permite a correcção de um engano na escolha da faixa.

Porém, este tipo de solução não é a melhor solução para resolver o problema, especialmente em estradas de 2x2 vias, pois requer demasiado espaço para implantar a faixa de rodagem. A solução passará por adoptar outro tipo de intersecção, por exemplo uma rotunda.

4.4.2.3. VIAS DE ACELERAÇÃO

As vias de aceleração só se justificam em estradas de 2x2 vias, principalmente devido ao custo do investimento a elas associado, sendo que nestas as ligações devem ser feitas por nós. Contudo, a possibilidade de implantação em intersecções de nível pode ser considerada dependendo da importância da intersecção e dos volumes de tráfego. Esta solução deverá ser estudada em casos de pouca visibilidade no movimento de convergência, ou de elevado volume de tráfego de pesados nesse mesmo movimento.

São vias destinadas ao aumento da velocidade dos veículos, com as seguintes finalidades:

- permitir que um veículo ao entrar na estrada principal, aumente a sua velocidade até um valor que o permita penetrar na corrente de tráfego directo em segurança e provocando o mínimo de interferências à mesma;
- proporcionar aos veículos da estrada principal tempo e distância suficientes para procederem aos reajustes operacionais necessários para facilitar a entrada dos novos veículos.

Segundo a norma inglesa TD 42/95, as vias de aceleração devem ser consideradas quando, simultaneamente:

- velocidades base superiores a 85 km/h;
- TMDA da viragem à direita superior a 600 veículos ou superior a 450 veículos se a percentagem de pesados for superior a 20%;
- o declive longitudinal dos traínéis for superior a 4%.

As vias de aceleração mais aconselháveis são as do tipo paralelo (Figura 52), pois não provocam o estreitamento da via, evitando-se assim a entrada forçada dos veículos na via de tráfego directo. Estas vias são constituídas por uma parte rectilínea paralela à estrada principal e por um bisel em curva e contra-curva, que deve ser dimensionado à semelhança do preconizado nas vias de viragem à esquerda neste trabalho, em 4.4.2.2.2. (Figura 48).

O início da via de aceleração é o ponto de raio mínimo da curva de concordância.

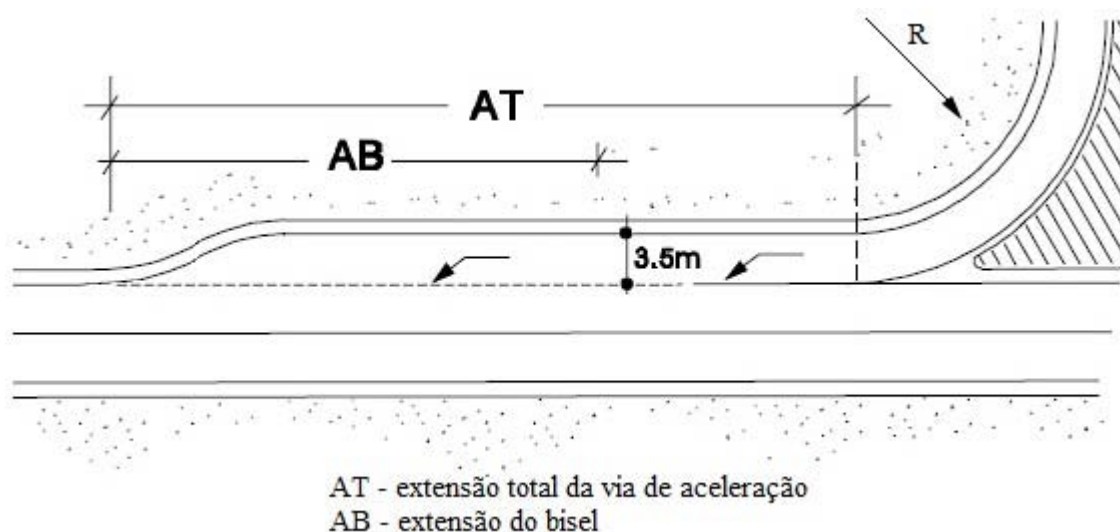


Figura 52 – Via de aceleração do tipo paralelo (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

As normas nacionais consideram que as vias de aceleração têm uma largura de 3,50 metros e que a sua extensão é definida em função da velocidade base da estrada principal. No Quadro 15 é indicado a extensão total das vias e a extensão do bisel, preconizadas pela norma portuguesa JAE P5/90.

Quadro 15 – Extensão total e extensão do bisel para as vias de aceleração do tipo paralelo (quadro elaborado pela JAE P5/90).

Velocidade base (km/h)	60	80	90	100	>110
Extensão total (AT) (m)	140	180	210	240	270
Extensão do bisel (AB) (m)	50	50	75	75	75

Na norma portuguesa a extensão total de aceleração não depende do raio da curva de concordância que antecede a via de aceleração, nem da inclinação da rasante da estrada principal, como acontece em outros países o que é muito pouco correcto. Portanto, neste trabalho, é feito o cálculo da extensão total da via de aceleração em função destas condicionantes, à semelhança do cálculo feito para as extensões das vias de desaceleração. Porém, neste caso é importante a utilização da velocidade de tráfego em vez da velocidade base, pois a entrada dos veículos na corrente de tráfego directa pode ser condicionada pelos 15% de veículos que nela circulam com velocidade de tráfego. Por outro lado, um veículo pode não ter possibilidade de entrar na corrente de tráfego no instante em que atinge a velocidade que nela se circula, tendo que abrandar a sua velocidade sob pena de acabar a via de aceleração ou então forçará a sua entrada na corrente directa.



Figura 53 – Via de aceleração do tipo paralelo na estrada N4 em faixa de rodagem de 2x1 vias (fotografia tirada pelo autor para este trabalho).

O cálculo da extensão das vias de aceleração será feito à semelhança do efectuado para a extensão das vias de desaceleração, sendo considerada uma trajectória rectilínea para os veículos em processo de aceleração constante e de valor $1,5 \text{ m/s}^2$, que embora possa ser demasiado para os veículos pesados, não o é para os veículos ligeiros em velocidades moderadas. Como tal, o movimento dos veículos em via de aceleração pode ser caracterizado pelas equações do movimento rectilíneo uniformemente acelerado, que se apresentam a seguir:

sendo a função horária do movimento rectilíneo uniformemente acelerado, para esta situação:

$$S = v_i \times t + \frac{1}{2} \times a \times t^2 \quad (39)$$

e a sua derivada a função horária da velocidade no movimento rectilíneo uniformemente acelerado:

$$v_t = v_i + a \times t \quad (40)$$

transportando v_i para km/h:

$$S = \frac{V_i}{3,6} \times t + \frac{1}{2} \times a \times t^2 \quad (41)$$

e v_t :

$$V_t = \left(\frac{V_i}{3,6} + a \times t \right) \times 3,6 \quad (42)$$

com:

S – extensão total da via de aceleração [m]

V_t – velocidade de tráfego na estrada principal [km/h]

t – tempo de aceleração necessário [s]

a – aceleração [m/s^2]

V_i – velocidade admissível no início da via de aceleração [m/s]

No Quadro 16 são apresentadas as velocidades admissíveis na curva que antecede a via de aceleração, para o cálculo foi utilizada a expressão (21) e considerada uma sobrelevação de 5% que garante a comodidade na curva. Com esta velocidade facilmente se calcula, através da expressão (42), o tempo que um condutor deve acelerar o veículo, a aceleração constante, para atingir a velocidade de tráfego praticada na corrente de tráfego directa. Tendo o tempo de aceleração, calcula-se, através da expressão (41), a distância necessária para a via de aceleração.

No Quadro 16 são apresentados os valores para a extensão total das vias de aceleração calculados neste trabalho.

Estas extensões ainda devem ser corrigidas por factores de correcção referentes à inclinação da rasante, pois no seu cálculo considera-se que a rasante é horizontal. Como se referiu a norma portuguesa não entra em linha de conta com a inclinação da rasante, tal como faz para as vias de desaceleração. A norma espanhola considera estes factores, em função, claro está, da inclinação da rasante e da velocidade praticada na estrada principal e de início da via de aceleração. A consideração das inclinações da rasante é da maior importância para a inserção dos veículos pesados na corrente de tráfego directa, visto que apresentam maiores dificuldades de aceleração do que os veículos ligeiros, sendo ainda agravada a situação em rampas. No Quadro 17 apresentam-se esses factores.

Quadro 16 – Extensão total e extensão do bisel para as vias de aceleração do tipo paralelo (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).

Raio da concordância (m)		15	20	25	40	50	75
Velocidade de entrada na via de aceleração (km/h)		20	25	30	35	40	50
Velocidade de tráfego da estrada principal (km/h)	Extensão do bisel (AB) (m)	Extensão total da via de aceleração (AT) (m)					
60	50	85	80	70	60	55	30
70	50	120	115	105	95	85	70
80	50	155	145	140	135	125	100
90	50	200	190	185	175	170	145
100	50	255	245	235	225	215	195
120	75	360	355	345	340	330	310

Fazendo a comparação dos valores obtidos com os preconizados na norma JAE P5/90 (Quadro 15), verifica-se que no geral os valores calculados são maiores do que os valores da norma. É necessário ter em atenção na comparação entre os dois quadros que os valores não estão em função do mesmo tipo de velocidades na estrada principal. A título de exemplo verifique-se que na norma é apontada uma extensão total da via de aceleração de 140 metros para uma velocidade base na estrada principal de 60 km/h. Sabe-se que essa velocidade corresponde a uma velocidade de tráfego de 80 km/h (ver Quadro 2), correspondendo no Quadro 16 a uma velocidade de entrada na via de aceleração de 30 km/h e a um raio da curva de concordância de 25 metros.

Quadro 17 – Factores de correcção para a extensão das vias de aceleração devidos à inclinação da rasante (quadro elaborado a partir da norma espanhola).

Velocidade de tráfego na estrada principal (km/h)	Velocidade na curva de entrada (km/h)			
	Rampa			Declive
	30	40	50	Todas
3 a 4%				
≤ 70	1,30	1,30	1,30	0,70
80	1,40	1,40	1,40	0,65
100	1,40	1,50	1,60	0,60
5 a 6%				
≤ 70	1,50	1,50	1,60	0,55
80	1,50	1,60	1,70	0,55
100	1,80	1,90	2,00	0,50

Vias de aceleração de viragem à esquerda a partir da estrada secundária

Nem sempre são necessárias em intersecções com paragem obrigatória, uma vez que os condutores têm que esperar a oportunidade de se inserir na corrente de tráfego. Contudo, podem ser previstas nas intersecções totalmente canalizadas e com elevada intensidade de tráfego nas viragens à esquerda a partir da via secundária, principalmente de tráfego pesado.

Em estradas de 2 x 2 vias com separador central, o separador deve ter largura suficiente para protecção do veículo que vira à esquerda. Neste caso, o veículo tem que aguardar um intervalo disponível para atravessar a corrente de tráfego, e após efectuar a viragem, aumentar a velocidade até um valor que o permita incorporar-se no tráfego da estrada principal com velocidade próxima da velocidade base.

Estas vias de aceleração devem ser consideradas quando se verificam as seguintes condições:

- ✓ o tráfego da estrada principal apresenta poucos intervalos para a inserção dos veículos provenientes da estrada secundária que pretendam virar à esquerda;
- ✓ o tráfego da estrada principal apresenta velocidade elevada;
- ✓ é significativo o número de acidentes por colisão traseira ou lateral;
- ✓ a distância de visibilidade na intersecção é insuficiente;
- ✓ elevado tráfego de pesados na estrada secundária com viragem à esquerda (75 a 100 por dia).

As vias de aceleração no separador central facilitam as viragens à esquerda e reduzem acidentes e conflitos de tráfego. No entanto, as vantagens criadas para as viragens à esquerda na estrada principal podem trazer desvantagens para as viragens à esquerda a partir da estrada secundária.



Figura 54 – Via de aceleração na estrada IC2 com faixa de rodagem de 2x1 vias (fotografia tirada pelo autor para este trabalho).

4.4.3. SEPARADORES CENTRAIS

4.4.3.1. GENERALIDADES

Os separadores são elementos muito importantes na segurança das intersecções, particularmente no caso das viragens à esquerda.

Os principais objectivos dos separadores centrais, principalmente quando se encontram fisicamente materializados, são:

- minimizar as interferências entre as correntes de tráfego de sentidos contrários, tendo como resultado maior conveniência, conforto e segurança para os condutores;
- fornecer protecção e facilidades para manobras de cruzamento e viragens à esquerda;
- aumentar a notoriedade do cruzamento;
- proteger e facilitar eventuais travessias pedonais.

Sempre que o espaço disponível permita a utilização de separadores centrais, estes devem ser previstos, pois estima-se que a construção destes reduza em 60% a probabilidade de acidentes devidos às viragens à esquerda. Quando fisicamente materializados, haverá que prever sempre sinalização horizontal e vertical complementar que alerte, atempadamente, o condutor para a existência do separador, de forma a evitar acidentes por invasão frontal.

Nas intersecções dos Itinerários Complementares, devem ser sempre previstos separadores centrais, assegurando-se sempre visibilidade nocturna através da iluminação da intersecção.

Em separadores largos, pode ser necessário deslocar as vias de desaceleração nele contidas (vias deslocadas), no sentido de melhorar a visibilidade, diminuir a possibilidade de conflito entre veículos que viram à esquerda em sentidos opostos e aumentar os valores correspondentes à saturação do cruzamento.

No dimensionamento de um separador central há que considerar:

- ✓ a largura do separador;
- ✓ a transição do perfil transversal tipo a montante e a jusante para o perfil transversal tipo na intersecção;
- ✓ a extensão do separador;
- ✓ os extremos do separador;
- ✓ o raio das viragens à esquerda;
- ✓ a abertura do separador.

4.4.3.2. LARGURA DO SEPARADOR

Em intersecções de nível deste tipo é necessário considerar uma via de viragem à esquerda, com a largura de 3,5 m. Como tal, para o dimensionamento da largura do separador em intersecções são feitas as seguintes recomendações:

- do ponto de vista operacional e da segurança o separador central de uma estrada rural deve ser tão largo quanto possível. Todavia, devem ser considerados os seus custos, os erros potenciais

dos condutores, a uniformidade do projecto da estrada e as tendências de crescimento do tráfego futuro;

- os dois factores básicos na escolha da largura do separador numa intersecção são o veículo de projecto e o tipo de solução adoptada para as viragens à esquerda;
- a principal causa de manobras incorrectas é a competição pelo espaço disponível na abertura do separador, para efectuar viragens à esquerda ou cruzamentos na estrada principal. À medida que aumenta o número dessas manobras cresce a necessidade de separadores mais largos;
- a largura mínima desejável, para o separador numa intersecção, é de 4,0 metros. No entanto, há que considerar, para além do separador, bermas esquerdas para as faixas de rodagem de sentido unidireccional com largura de 1,0 metro. Este valor mínimo resulta da precedência de possibilitar que as manobras de atravessamento se efectuem em duas fases, para veículos ligeiros de 4,0 metros, com folga de 1,0 metro para cada lado;
- se o volume de veículos pesados for significativo, deve-se possibilitar a travessia da intersecção por estes veículos em duas fases. Para tal, no caso dos camiões o separador central deve ter a largura de 12,0 metros, quando TMDA for superior a 30 veículos. No caso de se considerar a travessia de veículos articulados a largura deve ser 20,0 metros, para TMDA maior que 10 veículos. Contudo, este tipo de solução torna-se irrealizável com o aumento da largura do separador, existindo alternativas melhores do ponto de vista da operacionalidade e mais económicas. É o caso da rotunda quanto correctamente dimensionada;
- o tipo de local onde se situa a intersecção pode influenciar na largura do separador. As intersecções em áreas urbanas e suburbanas, operam com maior segurança com separadores estreitos, enquanto em áreas rurais são desejáveis separadores largos.

Portanto, diferentes locais de uma estrada podem resultar em diferentes larguras do separador central. Recomenda-se a adopção de padrões uniformizados, para melhor consistência de procedimentos. Haverá no entanto necessidade de analisar cada intersecção em particular.

4.4.3.3. ALARGAMENTO DO PERFIL TRANSVERSAL TIPO

Numa intersecção em que se introduz um separador, a transição entre o perfil transversal tipo da estrada nos troços uniformes e o perfil transversal na zona da intersecção deve ser efectuado suavemente, de modo a evitar manobras bruscas.

Em alinhamento recto a transição entre perfis deve ser feita através de uma curva e contra-curva. Neste trabalho não se aconselha a utilização da expressão preconizada na norma JAE P5/90 para o cálculo dos raios da curva e contra-curva, mas sim as prescritas neste trabalho em 4.4.2.2.2, expressão (27) e (38). Apresentam-se em baixo as mesmas, mas com as devidas alterações de variáveis.

$$(R1 + R2) = \frac{ET}{\text{sen}(\theta' \text{ ou } \theta'')} \quad \text{ou} \quad 2 \times R = \frac{ET}{\text{sen}(\theta' \text{ ou } \theta'')} \quad (43)$$

$$\theta' = 2 \times \text{Arctg}\left(\frac{a'}{ET}\right) \quad \text{e} \quad \theta'' = 2 \times \text{Arctg}\left(\frac{a''}{ET}\right) \quad (44)$$

com:

ET – extensão da zona de transição [m]

a' – alargamento máximo do perfil transversal [m]

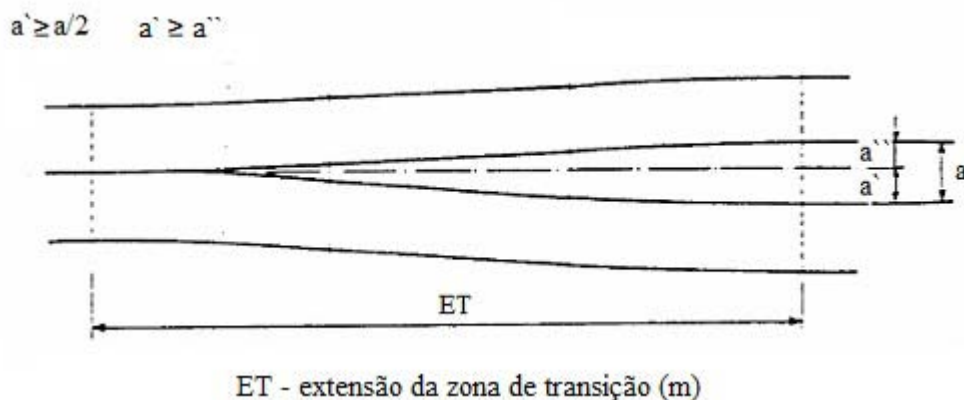


Figura 55 – Transição entre perfis transversais (extractos da norma JAE P5/90).

Segundo a norma JAE P5/90, a extensão necessária para se efectuar o alargamento do perfil tipo (ET) depende da velocidade e do alargamento do perfil transversal, sendo dada pela expressão:

$$ET = V \times \sqrt{a'} \quad (45)$$

com:

V – velocidade de tráfego [km/h]

Apresentam-se no Quadro 18 os valores da extensão da zona de transição (ET) para as velocidades base e para as correspondentes velocidades de tráfego.

Quadro 18 – Extensão da zona de transição do perfil transversal tipo (ET) (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).

a' (m)	VELOCIDADE BASE			
	40 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h
	ET (m)			
2	60	85	115	140
3	70	105	140	175
4	80	120	160	200
5	90	135	180	225
a' (m)	VELOCIDADE DE TRÁFEGO			
	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
	ET (m)			
2	85	115	140	170
3	105	140	175	210
4	120	160	200	240
5	135	180	225	270

Como foi mencionado, em 2.4.7, as normas nacionais consideram a utilização, no dimensionamento de intersecções, da velocidade de tráfego para IP`s e IC`s e da velocidade base para EN`s e outras com classificação inferior.

Como é sabido, a grande maioria dos condutores circula a velocidades superiores à velocidade base da estrada, por isso, foi considerado importante a utilização da velocidade de tráfego no dimensionamento da extensão da zona de transição em estradas da Rede Nacional, estradas que promovem, sobretudo, a mobilidade. Sendo a zona de transição o primeiro indicador “físico” da existência de uma intersecção, é importante conceder-lhe características de traçado que avisem atempadamente os condutores da existência de uma intersecção, não provocando surpresa aos condutores e evitando manobras bruscas.

4.4.3.4. EXTENSÃO DO SEPARADOR

A extensão do separador central depende principalmente do comprimento da via exclusiva de viragens à esquerda, que é constituída pela extensão de desaceleração e extensão adicional necessária para paragem dos veículos. Ao comprimento da via de desaceleração deve ser adicionado o comprimento correspondente à transição entre perfis transversais (ET), bem como um comprimento mínimo de 50 metros correspondente a uma zona compreendida entre o fim da transição de perfil transversal e o início da via de desaceleração (Figura 56).

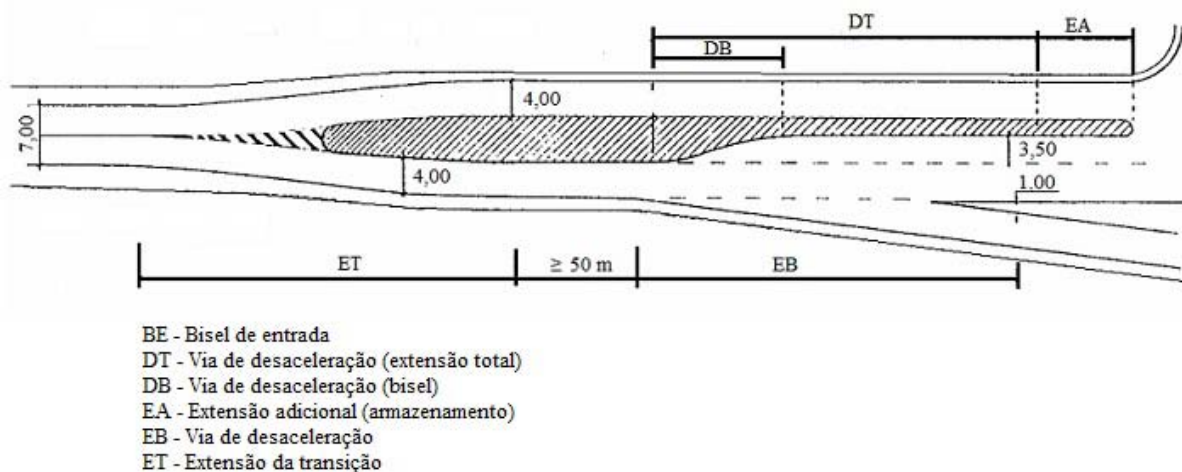


Figura 56 – Via de aceleração do tipo paralelo (extractos da norma JAE P5/90).

No caso de utilização de canalização demarcada a extensão de transição entre perfis pode ser reduzida em 25%, com um comprimento máximo de 100 metros, e é eliminada a extensão intermédia de 50 metros (Figura 57).

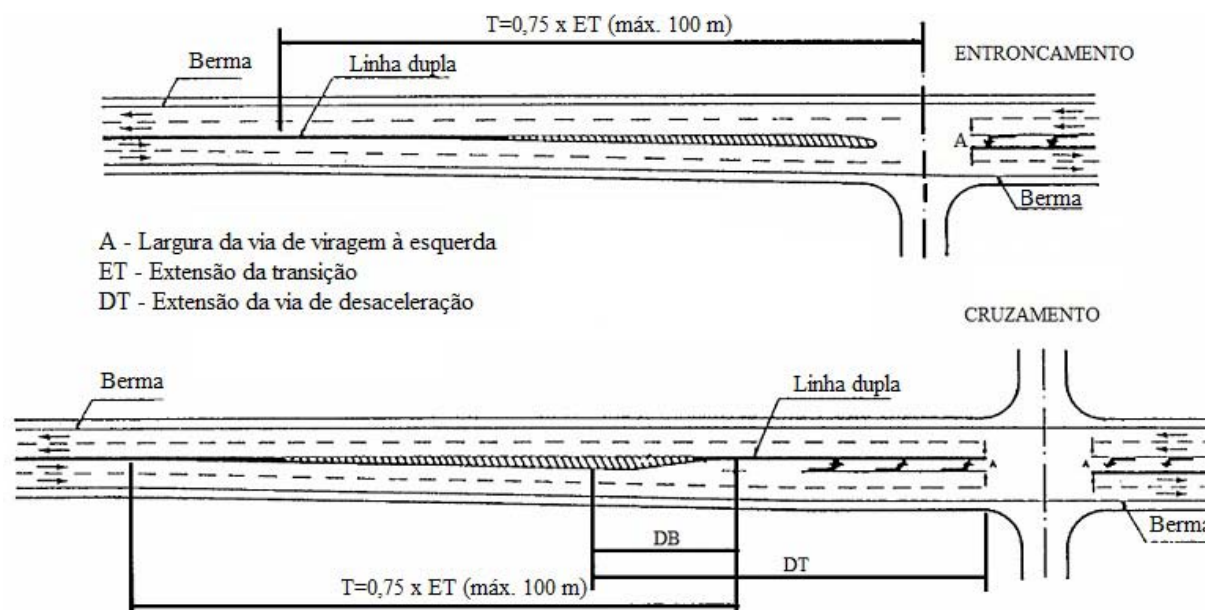


Figura 57 – Extensão do separador com sinalização horizontal demarcada (extractos da norma JAE P5/90).

4.4.3.5. ABERTURA DO SEPARADOR

A extensão mínima da abertura do separador é condicionada pelos arcos de circunferência que se adaptam às trajectórias (trajectórias excêntricas) percorridas pelas rodas do veículo de projecto a baixa velocidade. Essas trajectórias por sua vez dependem da largura do separador e do ângulo do eixo da estrada secundária com o da estrada principal (ângulo da intersecção).

Quanto maior o raio, maior a abertura do separador, e melhor a acomodação do veículo de projecto na viragem. Contudo, isto implica o aumento da área pavimentada na intersecção, que sendo excessivamente grande reduz a função de canalização da intersecção para veículos menores, criando interferências com outros veículos. A extensão da abertura do separador deve ser a menor possível, para melhor canalização dos movimentos dos veículos.

Para ângulos de intersecção de 90°, é normalmente aceitável uma abertura com 20,0 metros. No entanto, é sempre necessário verificar a validade da abertura adoptada, utilizando as cêrceas correspondentes ao veículo articulado.

Na zona da abertura do separador, a inclinação do perfil transversal deverá ser no máximo 5%.

4.4.3.6. EXTREMOS DO SEPARADOR

Os extremos, no início da materialização do separador, na transição de perfis transversais de estrada corrente para perfis transversais na intersecção, têm geralmente a forma de uma semi-circunferência de raio 1,0 metro. Opostamente, no extremo correspondente ao fim da via de desaceleração de viragem à esquerda, deve-se utilizar uma semi-circunferência com o diâmetro igual à largura do separador central nessa zona (Figura 58A), sendo esse diâmetro no mínimo de 0,50 metros.

Nos separadores com largura superior a 6,0 metros (incluindo as bermas), o traçado mais conveniente é definido por dois arcos de círculo, com o raio igual ao raio das viragens à esquerda (Quadro 19), e

por uma semi-circunferência no vértice, como representado na Figura 58B, ou então, apenas por um arco de círculo, tal como a Figura 58C. Com estas soluções diminui-se a área a pavimentar, resultando numa canalização mais eficaz.

Pode-se optar também por um semi-círculo e definir o traçado referido anteriormente através de sinalização horizontal demarcada. Com esta solução consegue-se reduzir o efeito do estrangulamento que se verifica quando se delimita o separador com lancis.

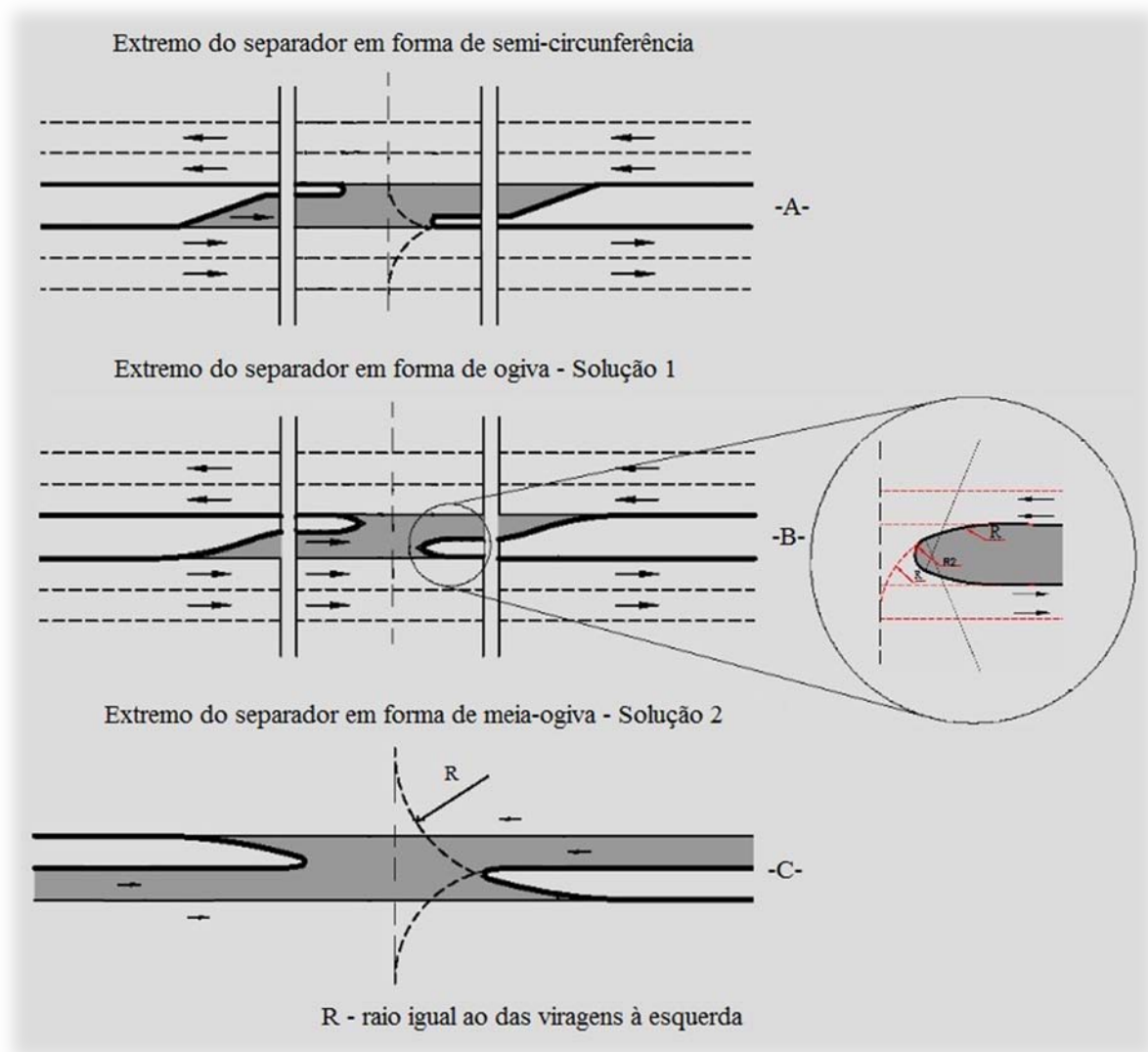


Figura 58 – Extremos dos separadores centrais adjacentes as vias de viragem à esquerda (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

4.4.3.7. FUNÇÃO DA CANALIZAÇÃO EM SEPARADORES CENTRAIS

Como já foi referido anteriormente, a canalização permite evitar movimentos errados em intersecções. Para os poder evitar é necessário conhecê-los. São quatro os movimentos errados que podem ser evitados com um eficiente dimensionamento do separador central, e são os seguintes:

- viragem à esquerda a partir da estrada secundária para a via mais próxima da estrada principal, entrando em sentido contrário;
- viragem à esquerda na estrada principal num ponto anterior ao do início do separador central, passando a circular em contramão, evitando o impedimento imposto pelo separador de viragens à esquerda. Este tipo de movimento é mais comum em estradas com controlo de acesso, onde a perda de uma saída pode significar um longo caminho para a correcção da viagem;
- viragem à direita na estrada secundária para a via mais afastada da estrada principal, entrando em contramão;
- travessia do separador central por desatenção, confusão, ou deficiência da sinalização. O condutor atravessa o separador sem se aperceber, podendo andar no sentido errado sem dar conta.

São feitas as seguintes recomendações no sentido de evitar movimentos incorrectos:

- numa intersecção a estrada secundária deve estar mais elevada ou ao mesmo nível da estrada principal. Permite-se assim que o condutor tenha uma visão clara dos sentidos da estrada principal e do esquema da intersecção. Em estradas de 2x2 vias isto é muito importante;
- sempre que possível é de evitar ângulos diferentes de 90° na intersecção, bem como soluções diferentes do normal. Soluções estranhas ao condutor provocam confusão e movimentos errados. (Austroads, 1988)

4.4.3.8. SINISTRALIDADE EM INTERSECÇÕES COM SEPARADOR CENTRAL

A experiência não permite afirmar que separadores largos induzam a movimentos errados, pois as intersecções com separadores largos estão enquadradas entre as mais seguras. Porém, não se pode afirmar que a sua utilização seja sempre vantajosa.

Uma análise sobre acidentes conduzida ao longo de cinco anos, em 150 intersecções de nível em estradas rurais de 2x2 vias, na Califórnia, Estados Unidos, por McDonald (Relation Between Number of Accidents and Traffic Volume at Divided – Highway Intersections, HRB, National Research Council, Washington, D.C, 1953), conduziu à seguinte relação:

$$N = 0,000783 \times V_d^{0,455} \times V_c^{0,633} \quad (46)$$

com:

N – número previsto de acidentes por ano na intersecção

V_d – volume médio diário anual da estrada principal de 2 × 2 vias [veíc./dia]

V_c – volume médio diário anual da estrada secundária [veíc./dia]

Recentemente, foram feitas novas análises conduzidas a partir de 8.748 acidentes em 2.140 intersecções ao longo de três anos (1990-1992) em estradas de 2x2 vias no Estado da Califórnia. A análise estatística dos resultados permitiu concluir:

- as intersecções rurais de quatro ramos apresentam número de acidentes decrescente em relação a separadores com largura crescente, como é demonstrado através do gráfico da Figura 59;
- as intersecções rurais de três ramos têm índices de acidentes baixos e não variam em função da largura do separador;
- nas intersecções urbanas e suburbanas de três e quatro ramos o número de acidentes cresce com o alargamento do separador central. (Homburger, 1992)

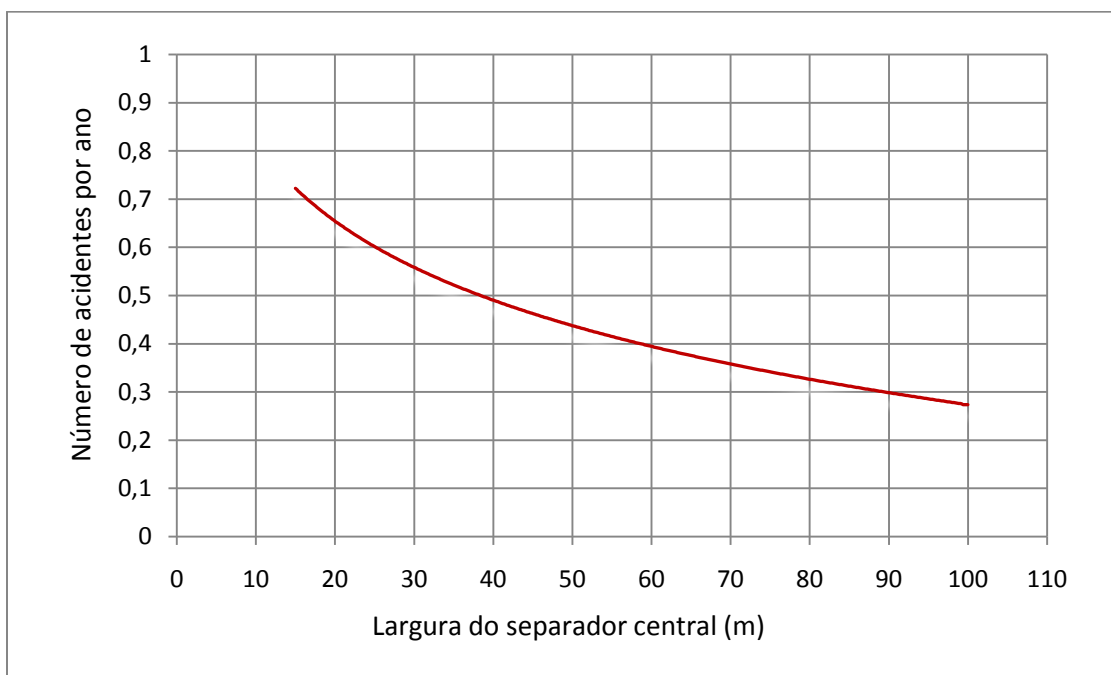


Figura 59 – Número de acidentes por ano em função da largura do separador central em intersecções rurais de quatro ramos (extractos da Highway Intersections, HRB, National Research Council, Washington, D.C, 1953).

4.5. A CONFIGURAÇÃO DA ESTRADA SECUNDÁRIA

4.5.1. LARGURA DAS VIAS

A largura das vias na estrada secundária varia de acordo com o tipo de intersecção. No caso de intersecções sem canalização a largura recomendada é de 3,5 metros, com um valor mínimo de 3,0 metros.

Nas situações em que existam condicionalismos de espaço, de modo a que apenas seja possível adoptar soluções com ilha separadora central, não considerando portanto a existência de ilhas direccionais, as dimensões recomendáveis devem ser as apresentadas na Figura 60. A ilha separadora pode ser materializada ou simplesmente pintada.

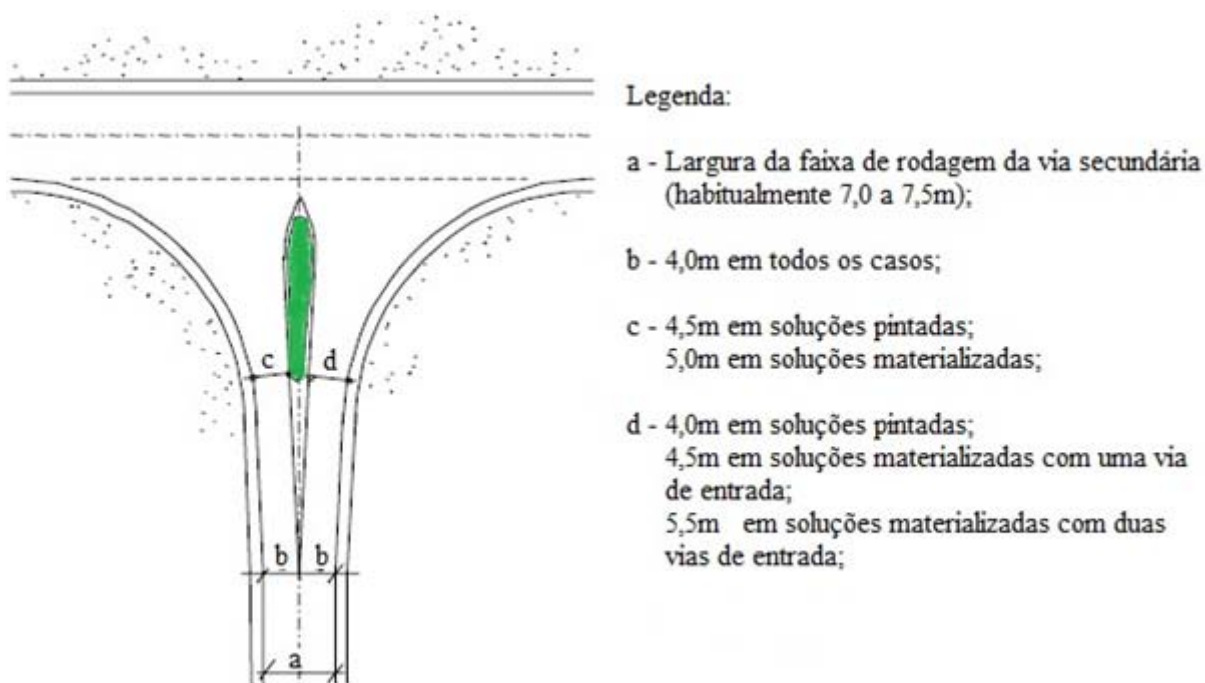


Figura 60 – Solução provida de ilha separadora (quadro elaborado pela TD 42/95).

Nas soluções em que se pretenda efectuar a canalização de todos os movimentos na estrada secundária, através da utilização de uma ilha separadora e de ilhas direccionais, as dimensões das vias são as representadas na Figura 61.

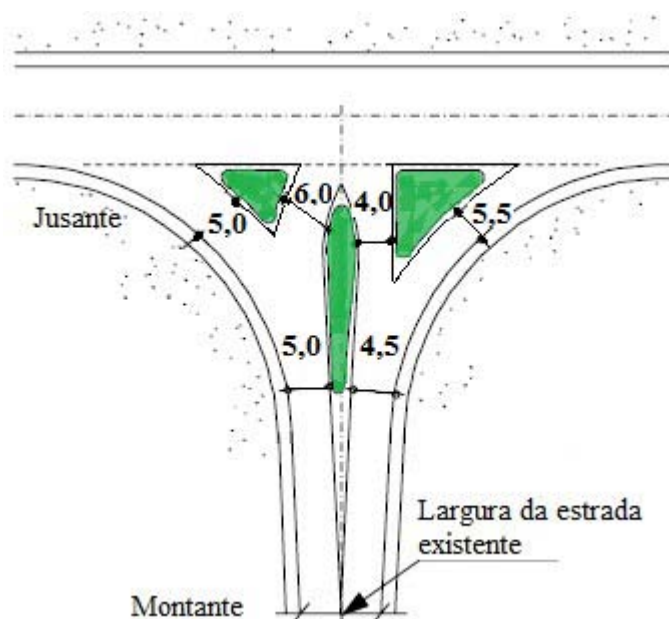


Figura 61 – Largura das vias não prioritárias (Imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

Como se sabe, em curva um veículo ocupa uma largura maior do que em recta, porque as rodas traseiras não seguem exactamente o rasto das dianteiras, devido à rigidez do eixo traseiro. Portanto, a largura ocupada será tão maior quanto menor o raio da curva e maior a distância entre eixo dianteiro e traseiro. Como tal, a largura das vias de viragem à direita é calculada em função do raio central da curva de concordância (R), e deve ser determinada através das seguintes expressões:

$$\begin{cases} L = 3,5 + \frac{55}{R} \text{ (m)} & R < 25,0 \text{ m} \\ L = 5,5 \text{ (m)} & R \geq 25,0 \text{ m} \end{cases} \quad (47)$$

com:

L – largura da via de viragem à direita [m]

R – raio da curva de concordância de viragem à direita [m]

Estas expressões foram determinadas com base nos raios de viragem do veículo articulado classe H17, portanto permitem facilmente a sua acomodação nas viragens.

A berma das curvas de concordância deverá ter a largura mínima de 2,5 metros, e um revestimento que permita a sua utilização, para a necessidade de ultrapassagem de veículos parados em caso de emergência.

4.5.2. ILHAS CANALIZADORAS

Como se referiu oportunamente, em 3.4.3, com o traçado de ilhas canalizadoras de tráfego pretende-se minimizar os conflitos entre veículos, melhorar a fluidez e aumentar a segurança na intersecção.

Na estrada secundária de uma intersecção temos ilhas separadoras, com forma em gota, e direccionais, com forma triangular, as dimensões de ambas dependem do traçado particular de cada intersecção. As ilhas devem servir de guia ao condutor para circular na via que corresponde ao trajecto pretendido.

No dimensionamento das ilhas canalizadoras de tráfego devem ser consideradas as seguintes directrizes:

- a solução tipo ideal para a estrada secundária deverá ser constituída por uma ilha separadora de sentidos e por duas ilhas direccionais, ver Figura 61;
- estas ilhas devem ser traçadas de maneira a que as viragens à direita sejam feitas em ângulos pequenos e os movimentos de cruzamento e viragens à esquerda se efectuem com um ângulo aproximadamente ortogonal;
- devem ser traçadas de modo a proporcionar aos veículos uma trajectória cómoda e natural;
- devem estar afastadas pelo menos 0,50 metros do bordo da estrada, para evitar que causem a sensação de restrição lateral aos condutores;
- deve ser evitado um número excessivo de ilhas, que comprometam a simplicidade da intersecção, provocando desorientação no condutor;
- devem ter boa visibilidade diurna e nocturna, para tal, deve-se considerar a possibilidade de sinalização reflectora e iluminação para uma segura circulação nocturna. A utilização de iluminação deve ser sempre considerada quando a estrada secundária esteja classificada como nacional;
- No traçado de uma intersecção é preciso evitar que um condutor que se aproxime da mesma, veja simultaneamente os vértices de duas ilhas, o que poderá causar confusão e acidentes. Consequentemente, o vértice montante de duas ilhas nunca deverá ficar situado no mesmo perfil transversal;
- a superfície interior das ilhas deve ser preenchida por terra vegetal e pode ser plantada desde que não exista obstrução à visibilidade. Em ilhas pequenas, deverá apenas efectuar-se um tratamento superficial contrastante com o pavimento das vias. No caso de travessia de peões estas devem ser sempre pavimentadas;
- a delimitação das ilhas deverá ser efectuada normalmente com lancis do tipo galgável, excepto quando seja necessário colocar nelas estruturas, nesse caso deverão ser delimitadas por guardas de segurança metálicas;
- em estradas nacionais de elevada velocidade, deve haver especial precaução antes da aproximação as ilhas separadoras. Para tal, podem ser consideradas marcas horizontais;
- na determinação do tipo e tamanho das ilhas, devem ser equacionados, além dos benefícios esperados, os custos de construção e conservação.

Para uma circulação segura é necessário advertir os condutores da presença de uma intersecção através de sinalização e do traçado da estrada, especialmente em locais com pouca visibilidade, a fim de poderem moderar gradualmente a sua velocidade e trajectória.

Para que a aproximação a uma intersecção seja feita a velocidades convenientes, o traçado da estrada secundária que antecede a intersecção deve ser tal que obrigue ao abrandamento dos veículos que desejam entrar na estrada principal, e facilite as viragens.

No caso de se considerar um tipo de intersecção com vias de aceleração para viragens à direita a partir da estrada secundária, não é conveniente que o traçado da estrada secundária influencie na redução da velocidade dos veículos.

4.5.2.1. ILHA SEPARADORA

A principal função da ilha separadora é separar as correntes de tráfego contribuindo deste modo para a canalização dos movimentos. Quando materializada evidencia a existência da intersecção, alertando o condutor durante a aproximação para a necessidade de reduzir a sua velocidade. A sua utilização permite:

- melhorar a segurança da intersecção, uma vez que obriga a uma deflexão da trajectória dos veículos e consequente diminuição da velocidade;
- servir de refúgio aos peões, o que permite o atravessamento destes por fases;
- minimizar as zonas de conflito.

Por tudo isto, é considerado que uma correcta concepção da ilha separadora reduz em metade a probabilidade de ocorrência de acidentes devidos aos movimentos de atravessamento.

Na concepção do traçado da ilha separadora deve-se ter em conta o seguinte:

- ✓ a ilha separadora deve ser geometrizada de forma a permitir que os veículos possam virar à esquerda ou atravessar a estrada principal em posição aproximadamente ortogonal à mesma. O ângulo da intersecção deve estar normalmente compreendido entre 80 a 120 graus;
- ✓ a extensão da ilha separadora depende da classificação da intersecção e das velocidades que se praticam na estrada secundária. Se a estrada secundária for nacional, a extensão deverá ser de 20 metros;
- ✓ a largura da ilha separadora depende do comprimento. A norma JAE P5/90 considera que quando a estrada secundária for nacional essa largura deve ser de 5,0 metros e de 3,0 metros quando a estrada secundária não for nacional. Porém, acho estes valores demasiado elevados, sendo plausível a consideração de uma largura mínima de 3,0 metros para estradas nacionais e de 1,0 metro para as restantes;
- ✓ são indicados no Quadro 19 os raios mais convenientes para as viragens à esquerda, que possibilitam a circulação de veículos articulados, e dependem do ângulo da intersecção e do perfil transversal da estrada principal na zona da intersecção;
- ✓ a transição entre o perfil transversal tipo da estrada secundária, e o perfil transversal na zona da ilha separadora, deve ser efectuada numa extensão de pelo menos 60,0 metros, a partir do extremo montante da ilha;

- ✓ a largura da via de viragens à esquerda ou de cruzamento a partir da estrada secundária, deve ser de 4,0 metros (Figura 61). Esta restrição de saída tem o intuito de reduzir as velocidades dos veículos, obrigando-os a parar, aumentando a segurança das manobras;
- ✓ as vias de viragem à direita e à esquerda a partir da estrada principal devem ter à entrada da estrada secundária, normalmente, larguras de 5,0 metros. Este alargamento das entradas da estrada secundária facilita as manobras a veículos que vêm de uma estrada onde a circulação se faz, possivelmente, a velocidades superiores do que as praticadas na estrada onde entra. A largura das curvas de viragem à esquerda será a correspondente ao respectivo raio, Quadro 19;
- ✓ o extremo montante da ilha separadora, cuja largura deverá ser de 1,50 m, deve ficar recuado 1,00 metro do alinhamento da via de saída da estrada secundária;
- ✓ o extremo jusante da ilha separadora deve ficar afastado do limite da faixa de rodagem da estrada principal no mínimo 2,0 metros, e no máximo 4,0 metros.

A concepção geométrica da ilha separadora depende do ângulo entre as directrizes da estrada principal e secundária. No Anexo B é detalhado o procedimento para o traçado da ilha separadora em três situações distintas, para $80^\circ < \beta < 120^\circ$, $\beta > 120^\circ$ e $80^\circ < \beta$, com os correspondentes esquemas elucidativos.

No Quadro 19 apresentam-se os raios a utilizar nas viragens à esquerda (RES e REP) em função do ângulo da intersecção e do perfil transversal da estrada principal na zona da intersecção, respeitando os raios de viragem mínimos imposto pela norma portuguesa para os veículos articulados, que são apresentados na Figura 11.

Quadro 19 – Raios de viragem à esquerda em função do ângulo da intersecção (quadro elaborado pela JAE P5/90).

ESTRADA PRINCIPAL	ÂNGULO DA INTERSECÇÃO (grados)									
	80		90		100		110		120	
	RES	REP	RES	REP	RES	REP	RES	REP	RES	REP
2x2 vias e via de viragem à esquerda	16	24	18	22	20	20	22	18	24	16
2 vias e via de viragem à esquerda	14	22	16	20	18	18	20	16	22	14
2 vias	12	18	12	16	13	13	16	12	18	12

RES - Raio da viragem à esquerda de saída da estrada secundária;

REP - Raio da viragem à esquerda de saída da estrada principal;

4.5.2.2. ILHAS DIRECCIONAIS

As principais vantagens resultantes da utilização de ilhas direccionais são as seguintes:

- reduzem a área de conflito, cobrindo áreas inúteis, restringindo os condutores à trajectória a seguir. Evitando, a livre escolha da trajectória, confusões e possibilidade de acidentes;
- permitem fazer a canalização através de vias individuais de viragem, sendo estas traçadas de modo a obrigarem à redução da velocidade;
- permitem soluções simples e padronizadas que melhoram a percepção e compreensão da intersecção por parte do condutor.

Na concepção das ilhas direccionais deve-se ter em conta o seguinte:

- ✓ as ilhas direccionais devem juntamente com as ilhas separadoras fazer com que os atravessamentos e viragens se façam em ângulo ortogonal, e que os movimentos de divergência e convergência se efectuem segundo pequenos ângulos;
- ✓ as ilhas direccionais devem ter uma área mínima $6,00 \text{ m}^2$ em intersecções urbanas e de $9,0 \text{ m}^2$ em intersecções rurais. O lado menor da ilha deve ser maior ou igual a 2,5 m. Sempre que a área seja inferior a esses valores, deve-se optar por ilhas simplesmente demarcadas no pavimento através de pintura;
- ✓ as ilhas direccionais devem ser localizadas no alinhamento externo da berma da estrada principal, e a uma distância de pelo menos 2,0 m da faixa de rodagem;
- ✓ se a intersecção estiver localizada numa secção curva da estrada principal e a aresta da ilha direccional for igual ou superior a 4,0 m, então a aresta deve ser em curva à semelhança da estrada principal, caso contrário será um alinhamento recto;
- ✓ quando um veículo se aproxima de uma ilha, ela é vista como um obstáculo. Para melhor orientação e conforto do condutor esse obstáculo deve ser afastado. Por essa razão, é desejável que os vértices das ilhas direccionais no início das vias de entrada sejam recuados de 0,75 m;
- ✓ a concepção geométrica destas ilhas resulta da concordância entre as vias de circulação das estradas secundária e principal. As suas faces devem ficar afastadas de 0,5m dos alinhamentos das vias, excepto o lado paralelo à estrada principal que deve ficar afastado do limite da faixa de rodagem cerca de 2,0m, podendo ser 1,5m no caso de zonas urbanas. Os extremos das ilhas direccionais devem ser concordados por arcos de círculo com 0,5m de raio.

Apresenta-se na Figura 62 o esquema de uma ilha direccional, segundo os princípios definidos anteriormente, e os afastamentos e raios recomendados para a delimitação da mesma.

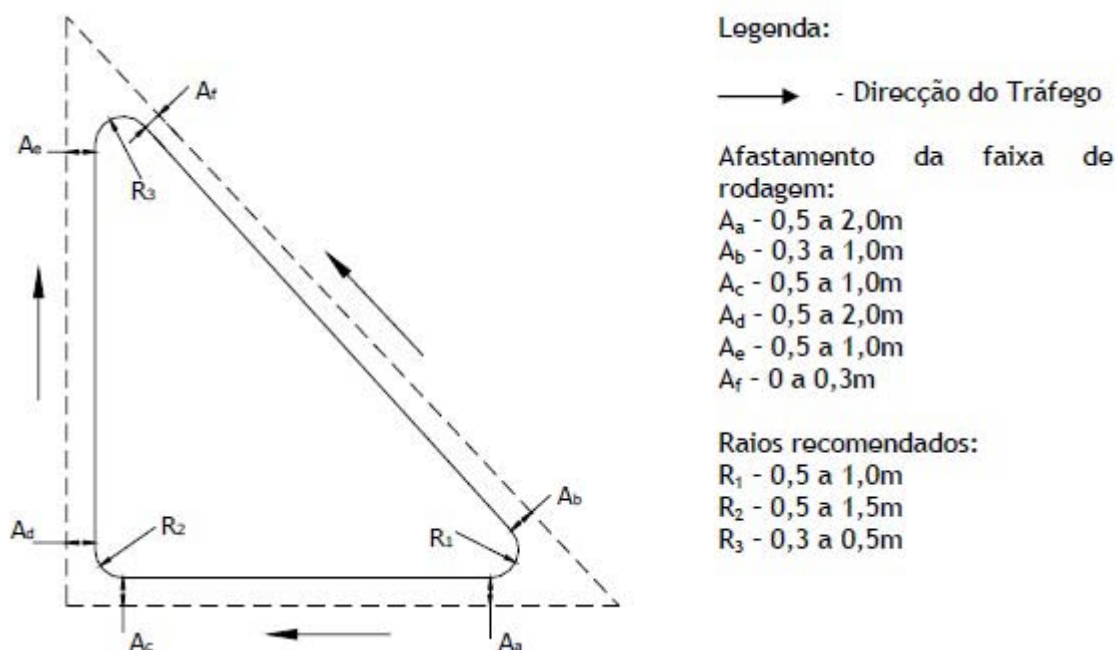


Figura 62 – Ilha direccional Largura das vias não prioritárias (extractos da JAE P5/90).

4.5.3. CURVAS DE CONCORDÂNCIA COM A ESTRADA PRINCIPAL

Os terminais dos ramos são da maior relevância no projecto de intersecções. Os alinhamentos dos bordos deverão ser projectados de modo a permitir que os veículos entrem e saiam do tráfego directo sem manobras bruscas, nem causar interferências.

As curvas das concordâncias nas intersecções não devem ser consideradas da mesma categoria do que as curvas em trechos contínuos, uma vez que os vários tipos de advertências próprios do seu projecto fazem com que os condutores antecipem condições menos favoráveis e aceitem maiores restrições. Os condutores ao abordarem uma intersecção esperam fortes curvaturas e toleram maior força centrífuga.

Diversos tipos de curvas poderão ser usados em intersecções, dentro dos quais se incluem as curvas circulares simples, compostas de dois ou três centros, ou com transição em espiral.

Curvas circulares simples

Os elementos das curvas circulares simples são facilmente calculados e implementados “in loco”. Contudo, os veículos numa viragem não descrevem uma trajectória circular, devido à rigidez do eixo traseiro que na viragem provoca o arrastamento das rodas, provocando uma trajectória excêntrica que mais se aproxima do formato definido pelas curvas de transição de raio variável. A excentricidade da trajectória é tão maior quanto maior o comprimento do veículo, daí a importância de se adoptar o veículo articulado como veículo de projecto.

Estas curvas devem ser apenas consideradas em intersecções de baixa importância, sem grandes volumes de tráfego de pesados. Como por exemplo, acessos locais, intersecções urbanas sem grande importância, etc.

Curvas compostas

As curvas compostas utilizadas em intersecções normalmente são de três centros, podendo ser de dois centros em certos casos. A curva de três centros inicia e termina com curvas de raio superior ao da curva central.

Na norma da JAE é proposta uma curva composta, desenvolvida para zonas inter-urbanas com relação entre os raios $R1:R2:R3 = 2:1:3$, sendo os ângulos ao centro para $R1$ e $R3$ de $17,5^\circ$ e $22,5^\circ$ respectivamente. O raio mínimo $R2$ é o preconizado no Quadro 20.

Neste trabalho não é desenvolvido o estudo desta curva, porque apesar de permitir uma melhor inscrição do veículo articulado do que a curva circular simples, não trás qualquer vantagem em relação à implementação de curvas com transição em espiral, pois estas permitem uma melhor inscrição do veículo na curva e evitam a necessidade de correcção da trajectória por parte dos condutores.

Curvas de transição em espiral

As curvas de transição em espiral são as que melhor representam o trajecto natural dos veículos, mas envolvem uma maior complexidade de cálculo e maiores dificuldades de implantação “in loco”. Dentro dos vários tipos de curvas de transição (Lemniscata de Bernoulli; Clotóide; Parábola Cúbica) a mais utilizada é a clotóide, que é comumente empregada nos modernos projectos rodoviários em Portugal.

O tipo de curva de transição que este documento admite é a que garante uma variação linear do raio em função do espaço percorrido, sendo a clotóide a curva que satisfaz esta condição. A sua equação intrínseca é:

$$A^2 = r \times l \quad (48)$$

com:

A – parâmetro da clotóide [m]

r – raio da curva circular [m]

l – extensão da clotóide [m]

Consequentemente, a clotóide é uma curva tal que em cada um dos seus pontos, o raio de curvatura (r) é inversamente proporcional à abcissa curvilínea, medida a partir da origem da curva (Figura 63).

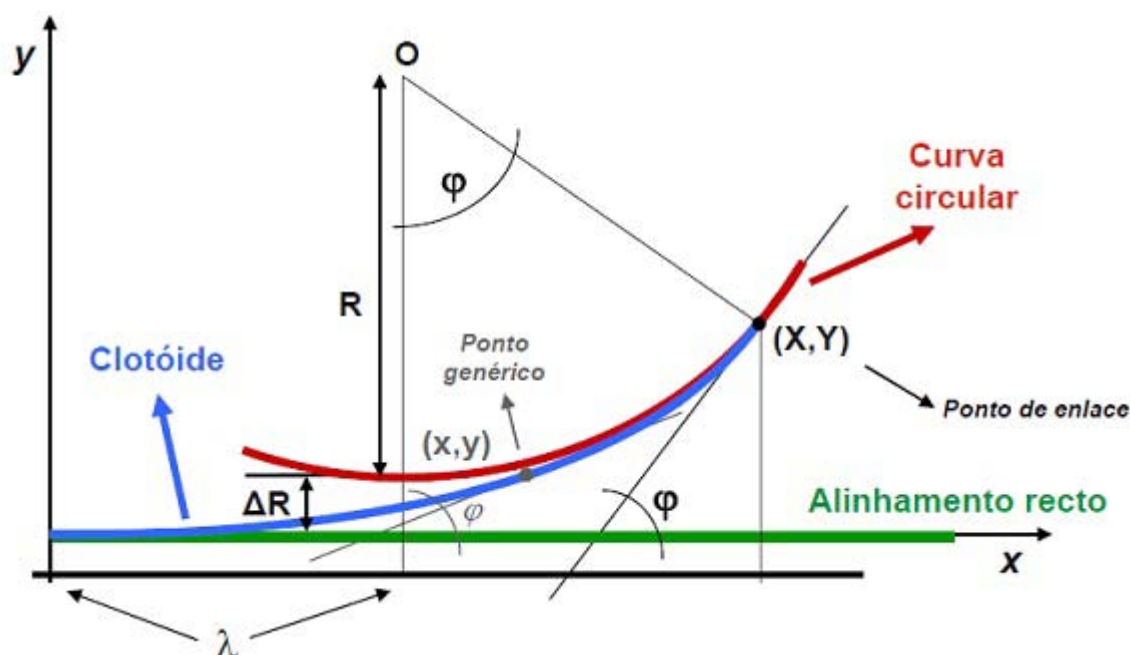


Figura 63 – Curva de transição de raio variável ou clotóide (extractos dos apontamentos de Vias de Comunicação I).

As curvas de transição têm como finalidade:

- proporcionar aos veículos uma trajectória natural, garantindo a segurança e comodidade;
- fazer uma variação gradual da aceleração centrífuga não compensada, tornando o traçado mais seguro e cómodo;
- limitar a sobreaceleração, que pode provocar incomodidade nos condutores;
- permitir o disfarce da sobreelevação.

Se não existir curva de transição, se o veículo não estiver rigidamente ligado ao pavimento e o condutor não poder actuar sobre o volante, o veículo tende a descrever uma curva de raio variável que em termos de traçado não existiria ao percorrer o ponto de tangência da curva circular. Por outro lado, a aceleração centrífuga irá surgir bruscamente nos pontos de tangência.

A utilização de curvas de transição deve ser empregue em curvas de viragem à direita quando se pretende melhores condições de circulação, no caso do ângulo dos alinhamentos ser inferior a 100 graus, a sua utilização é especialmente importante pois facilita a inscrição dos veículos pesados. O raio mínimo deverá ser o constante do Quadro 20.

O grande senão da utilização de curvas de transição de raio variável é a questão do espaço necessário à sua implantação na intersecção. Pois podem ocupar um espaço considerável, principalmente para ângulos de intersecção inferiores a 100 graus, tendo grandes desvantagens em locais onde sejam importantes os condicionalismos de espaço, nomeadamente em zonas urbanas.

Uma solução alternativa à utilização de curvas de transição em zonas urbanas ou suburbanas é a execução de um alargamento da entrada na estrada principal. O alargamento pode ser executado recorrendo a simples leques de inserção, equiparados a vias de aceleração do tipo directo e de pequena extensão (Figura 64).

A norma inglesa TD 42/95 recomenda para zonas urbanas a utilização de alargamentos com um rácio 1:5, numa extensão “L” de 30 metros e raios de viragem de 10 metros. Nas zonas rurais recomenda-se a adopção de raios mínimos de 15 metros associados a alargamentos com características variáveis com o tipo de cruzamento:

- cruzamentos sem canalização - Rácio 1:10 numa extensão de 25 metros;
- cruzamentos com canalização pintada - Rácio 1:6 numa extensão de 30 metros;
- cruzamentos com canalização materializada - Rácio 1:8 numa extensão de 32 metros.

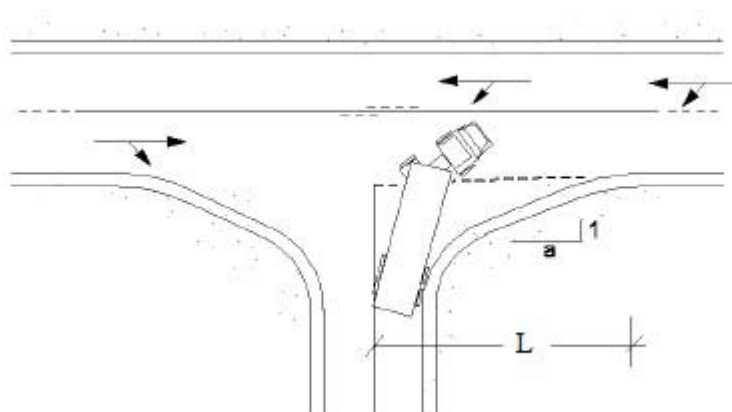


Figura 64 – Solução de alargamento da entrada (extractos da TD 42/95).

4.5.3.1. RAI0 MÍNIMO

Com base nas trajectórias que os veículos podem seguir, apresenta-se no Quadro 20 os raios mínimos das curvas de concordância com a estrada principal. No seu cálculo, entra-se com o ângulo da intersecção e com o raio de viragem mínimo exigido para veículos (Figura 11), obtendo-se o raio mínimo da curva circular simples a empregar.

As velocidades a adoptar nas concordâncias de uma intersecção dependem do tipo de intersecção e dos volumes de tráfego de viragem e directo. Contudo, as viragens à direita estão sempre precedidas de sinalização de paragem, “STOP” ou cedência de paragem, não sendo portanto a velocidade um critério de dimensionamento dos raios mínimos das curvas de concordância.

Apesar de tudo, é importante saber o diferencial entre a velocidade a que pode ser efectuada a viragem à direita, e à velocidade do tráfego na estrada principal, pois condiciona a segurança da intersecção. Com efeito, quanto maior for o diferencial entre essas velocidades maior será a probabilidade de colisões pela retaguarda. Nessas situações é aconselhável a implantação de vias de desaceleração ou de aceleração, em especial em estradas nacionais.

No cálculo dos raios mínimos é importante considerar a manobrabilidade dos veículos pesados, para tal é respeitado o raio mínimo a que todos os veículos devem obedecer (Figura 11). Como tal, o raio

mínimo deve ser de 15,0 metros, podendo ser mais elevados à medida que o ângulo da intersecção aumenta, conforme se mostra no Quadro 20.

Quadro 20 – Raios mínimos das curvas de viragem à direita (extractos da JAE P5/90).

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

A norma JAE P5/90 considera para intersecções com estradas municipais a utilização do raio mínimo correspondente aos camiões. Acho que só se deve recorrer a estes raios em última instância, como no caso de zona urbana e de impossibilidade de adopção dos raios mínimos correspondentes ao veículo articulado. Portanto, em intersecções de estradas nacionais devem ser sempre considerados os raios mínimos para veículos articulados.

4.5.3.2. SOBREELEVAÇÃO

Quando um veículo percorre uma curva é sujeito a uma força centrífuga que o desvia para o exterior da curva. Esta acção da força centrífuga é contrabalançada pelo condutor de modo a que o veículo se insira na curva, sendo esse esforço reduzido pela introdução da sobrelevação. Contudo, na maioria dos casos, a dificuldade prática de implantar a sobrelevação sem mudanças abruptas da inclinação transversal nas curvas de acesso, devido a raios pequenos e extensões reduzidas, impede a adopção de taxas adequadas de variação de sobrelevação.

Normalmente considera-se que uma variação máxima da sobrelevação, $\Delta Sx(t)$, de 2.5% por segundo garante o conforto do condutor. No Quadro 21 apresentam-se os valores limites da variação da sobrelevação, $\Delta Sx(x)$, para diferentes velocidades. A metodologia de cálculo foi a seguinte:

sendo:

$$\Delta Sx(t) = \frac{Sx}{\Delta t} \quad (49)$$

se o tempo para o início da transição for nulo e como:

$$x = v \times t \quad (50)$$

então, para velocidade constante:

$$\Delta Sx(x) = \frac{\Delta Sx(t)}{v} \quad (51)$$

passando a velocidade para km/h:

$$\Delta Sx(x) = \frac{3.6 \times \Delta Sx(t)}{v} \quad (52)$$

com:

$\Delta Sx(t)$ – variação da sobrelevação em ordem ao tempo [%/s]

Sx – sobrelevação num ponto x da curva de transição [%]

x – espaço percorrido [m]

$\Delta Sx(x)$ – variação da sobrelevação em ordem ao espaço percorrido [%/m]

Quadro 21 – Variação máxima, em transição linear, da sobrelevação nas concordâncias (quadro elaborado pelo autor para este trabalho).

Velocidade na concordância (km/h)	20	25	30	40
Variação máxima da sobrelevação (%) em 10,0 metros	4,5	3,6	3,0	2,3

A utilização de clotóides como curva de transição, em que a curvatura vária gradualmente, permite um desenvolvimento mais adequado da sobrelevação.

Como foi dito, em intersecções de nível todo o tráfego que vira à direita tem que parar, portanto pode-se usar valores menores de sobrelevação. Alias, a ocorrência de grandes veículos de carga torna conveniente a sua redução, dada a dificuldade que têm esses veículos em circular nas velocidades correspondentes a esses valores. Isto é da maior importância nos casos em que há mudança de sentido da sobrelevação.

Apesar de todas estas condicionantes, deve-se assegurar no mínimo inclinação transversal de 2,5%, por questões de drenagem dos pavimentos betuminosos e sempre que possível sobrelevação de 5%.

4.5.3.3. DIMENSIONAMENTO DA CLOTÓIDE

No dimensionamento de clotóides são impostos diversos critérios, a que estas devem obedecer, no sentido de proporcionarem condução segura e comodidade aos condutores. São eles:

- ✓ condição de implantação;
- ✓ critério de comodidade e segurança;
- ✓ critério de disfarce da sobrelevação.

No caso de intersecções de nível, onde são utilizados raios pequenos para as curvas de concordância e extensões reduzidas, é necessário considerar um outro critério de dimensionamento para a clotóide de forma a limitar a variação da sobrelevação no tempo dentro do limite máximo de 2.5% por segundo, que garante o conforto do condutor.

Como se referiu, em 4.5.3, em intersecções os condutores antevêm condições menos favoráveis e aceitem maiores restrições, como tal tanto o critério estético como o de comodidade óptica podem ser desprezados. O primeiro porque tem a função de fornecer à curva uma estética agradável, ora como foi dito, os condutores aceitam em intersecções maiores restrições à comodidade. O segundo tenta garantir antecipada percepção da curva, o que não faz muito sentido em intersecções pois o condutor

já foi alertado pela sinalização da existência da intersecção e antes de mudar de direcção antecipa condições menos favoráveis.

O critério de implantação deve ser sempre verificado na implantação de clotóides, no entanto como as intersecções de nível devem apresentar um ângulo de desvio entre 80º a 120º este critério é sempre verificado, não entrando para o dimensionamento das curvas de transição das concordâncias de uma intersecção.

Portanto, há que considerar no dimensionamento das clotóides nas curvas de concordância em intersecções os seguintes critérios:

- ✓ critério da variação da sobrelevação no tempo;
- ✓ critério de comodidade e segurança;
- ✓ critério ligado ao disfarce da sobrelevação.

Critério 1- critério da variação da sobrelevação no tempo

Deduz-se a seguir a expressão utilizada no dimensionamento de clotóides em intersecções para atender à comodidade no crescimento da sobrelevação ao longo do tempo.

tendo a equação da sobrelevação para um ponto genérico da curva de transição:

$$Sx = i + \frac{x}{L} \times (Se - i) \quad (53)$$

o ponto genérico x pode ser dado pela equação do movimento rectilíneo uniforme (27), como tal:

$$Sx = i + \frac{v \times t}{L} \times (Se - i) \quad (54)$$

derivando em ordem ao tempo:

$$\Delta Sx = \frac{(Se - i)}{L} \times v \quad (55)$$

transformando a velocidade em km/h e tendo como máximo $\Delta Sx = 2.5\%/s$, resolvendo em ordem a L :

$$L = V \times \frac{(Se - i)}{9} \quad (56)$$

entrando com a função intrínseca da clotóide, vem:

$$A = \sqrt{\frac{R \times V \times (Se - i)}{9}} \quad (57)$$

com:

i – inclinação transversal no ponto de início da curva de transição [%]

Critério 2 – critério de comodidade e segurança

No cálculo do critério de disfarce e segurança foi considerada uma sobreaceleração máxima admissível de $S_{an}=0,75\text{m/s}^3$, que considero admissível no caso de concordâncias em intersecções. As normas de traçado consideram uma sobreaceleração normal máxima de $0,5\text{m/s}^3$ em traçado corrente, portanto em intersecções de nível, onde os condutores esperam menor comodidade, é plausível o valor de $0,75\text{ m/s}^3$.

A sobreaceleração pode ser traduzida pela variação no tempo da aceleração centrífuga, esta dá uma medida de conforto (desconforto) a que os passageiros estão sujeitos ao circular em ao longo da curva de transição. Assim pode-se definir:

$$S_{an} = \frac{j}{t} \quad (58)$$

com:

$$j = \frac{v^2}{R} - g \times Se \quad (59)$$

a *clotóide* é um arco de curvatura progressiva, cujo desenvolvimento L se supõe percorrido com velocidade v constante, durante um tempo t , sendo assim temos:

$$t = \frac{L}{v} \quad (60)$$

a função pode tomar o aspecto:

$$S_{an} = \frac{(\frac{v^2}{R} - g \times Se) \times v}{L} \quad (61)$$

transportando a velocidade para km/h e considerando $g=10\text{ m/s}^3$:

$$S_{an} = \frac{(\frac{V^2}{R} - 127 \times Se) \times V}{46,7 \times L} \quad (62)$$

sabendo a função intrínseca da *clotóide*:

$$A^2 = R \times L \quad (63)$$

substituindo na equação (62) o L pela equação (63) e resolvendo a equação em ordem ao parâmetro da *clotóide* A , vem:

$$A_1 \geq \sqrt{\left(\frac{V \times R}{46,656 \times S_{an}} \times \left(\frac{V^2}{R} - 127 \times Se\right)\right)} \quad (64)$$

com:

S_{an} – sobreaceleração [m/s^3]

j – aceleração não compensada [m/s^2]

Ao contrário das normas actuais esta expressão tem em consideração o efeito atenuador da incomodidade que a sobre-elevação proporciona.

Critério 3 – critério ligado ao disfarce da sobrelevação

É recomendado que o disfarce da sobrelevação se processe ao longo da clotóide, partindo de um perfil com a inclinação da via de intradorso em alinhamento recto, ou seja partindo de uma sobrelevação de 2,5%. Implicando que a transformação do perfil a duas águas em alinhamento recto para um perfil com a inclinação da via de intradorso acontece em alinhamento recto.

Em ramais de intersecções a sobrelevação é implementada rodando o ramal sobre o bordo direito da estrada principal que funciona neste caso como eixo de rotação.

Com o aumento da sobrelevação é induzido um aumento da inclinação do bordo de extradorso do ramo pelo aparecimento de uma rampa secundária que se adiciona à inclinação da rasante do mesmo.

As normas de traçado procuram limitar superiormente o valor da rampa secundária com o objectivo de evitar o agravamento do empenamento da via e do valor da inclinação longitudinal para quem circula junto ao bordo de extradorso. Este efeito pode não ser condicionante nos ramais das intersecções de nível devido à pequena largura da via, normalmente 3,5 metros.

Os valores máximos da rampa secundária preconizados pela norma JAE P3-91 são indicados no Quadro 22:

Quadro 22 – Valores máximos para a rampa secundária (extractos da norma JAE P3-91).

Velocidade de Tráfego (Km/h)	$V \leq 40$	$40 < V \leq 80$	$V > 80$
$\Delta i_{\text{máx}}$ (%)	1,5	1,0	0,8

Não será necessário limitar inferiormente os valores da rampa secundária, no sentido de assegurar uma boa drenagem lateral, dado que às velocidades baixas nas intersecções não há risco de aquaplanagem.

Faz-se de seguida a dedução do critério:

a rampa secundária é dada por:

$$\Delta i = \frac{a \times Se - a \times i}{2 \times L} \quad (65)$$

desprezando o valor de $-i$ x a , para alcançarmos a expressão das normas de traçado, fica:

$$L = \frac{a \times Se}{2 \times \Delta i} \quad (66)$$

então, para se assegurar simultaneamente um $\Delta i_{\text{mín}}$ e um $\Delta i_{\text{máx}}$ estes dois critérios de dimensionamento aliados à função intrínseca da clotóide impõem que:

$$\sqrt{\frac{R \times a \times Se}{2 \times \Delta i_{\text{máx}}}} \leq A_2 \quad (67)$$

com:

a – largura da faixa de rodagem [m]

$\Delta i_{\text{máx}}$ – rampa secundária máxima [%]

No dimensionamento das clotóides a empregar nas curvas de concordância das intersecções foram considerados os três critérios mencionados, sendo que o parâmetro da clotóide será o valor máximo dos três critérios, e é com ele que calculamos a extensão mínima da transição.

Para o cálculo da extensão mínima de transição foi considerada a solução mais aconselhada, que é uma intersecção localizada numa zona de recta na estrada principal, com sobrelevação de 5% e com uma largura no ramo de 3,5 metros.

O Quadro 23 mostra os valores que obtive para cada um dos critérios, sendo calculada no final a extensão mínima a dar à transição.

Quadro 23 – Extensão mínima a dar à curva de transição conforme todos os critérios considerados (quadro elaborado pelo autor para este trabalho)

Raio da curva (m)	15	20	25	40	50	75
Velocidade base (km/h)	20	25	30	35	40	50
Critério 1 Parâmetro A (m)	9	12	15	20	24	33
Critério 2 Parâmetro A (m)	≥ 12	≥ 18	≥ 24	≥ 30	≥ 36	≥ 49
Critério 3 Parâmetro A (m)	≥ 7	≥ 8	≥ 9	≥ 11	≥ 12	≥ 18
Parâmetro A (m) Final	12	18	24	30	36	49
Extensão mínima da transição (m)	10	16	23	23	26	32

Pela análise do quadro, verifica-se que é o critério de comodidade e segurança (critério 2) que condiciona o parâmetro da clotóide, neste caso. De facto, está situação já era esperada, pois neste caso o critério da variação da sobrelevação no tempo assume valores muito reduzidos porque a sobrelevação a implantar neste caso é reduzida.

4.5.4. CONSIDERAÇÕES DE APOIO AO PEÃO

Particularmente em zonas urbanas, a presença do peão poderá justificar a adopção de algumas medidas que apesar de gerais poderão contribuir significativamente para a segurança pedonal, sem contudo prejudicar a fluidez, capacidade ou as condições de segurança da circulação automóvel.

Na estrada secundária, deve evitar-se a localização das passadeiras de nível nas imediações da delimitação da faixa de rodagem da estrada principal onde as concordâncias de bermas associadas às respectivas sobrelarguras resultam em grandes comprimentos de exposição ao risco para o peão. Contudo, à medida que se aumenta o seu afastamento da delimitação da intersecção, o percurso pedonal é consideravelmente alongado, incentivando a sua não utilização e o atravessamento ilegal e desordenado em locais não preparados com consequências na fluidez automóvel e na segurança quer

do tráfego quer dos peões. Deve assim haver algum esforço no sentido de não contrariar em demasia as trajectórias naturais dos peões, mesmo que tal resulte em piores desempenhos da intersecção.

Deve-se assim, normalmente, optar por uma solução de compromisso, localizando as passadeiras a cerca de 10,0 a 15,0 metros da barra de paragem, devendo se necessário recorrer a vedações físicas que impeçam os atravessamentos pedonais fora desses atravessamentos formais.

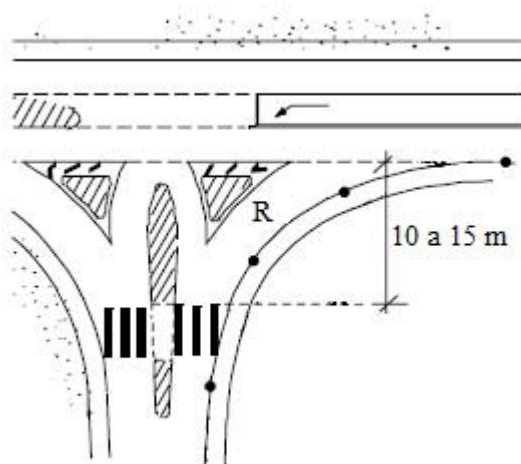


Figura 65 – Distância da passadeira à estrada principal (imagem elaborada pelo autor para este trabalho).

Preferencialmente essas travessias devem ser associadas à ilha separadora fisicamente materializada, viabilizando os atravessamentos em duas fases, sendo que em intersecções prioritárias com canalização por separadores demarcados, deve haver um esforço em materializar a ilha central e garantir um refúgio com largura mínima de 1,8 metros.

Refira-se ainda que perante atravessamentos pedonais, todos os ilhéus ou separadores fisicamente materializados deverão ser rebaixados ou interrompidos num comprimento igual à largura das travessias, de forma a evitar a criação de discontinuidades longitudinais, particularmente à circulação de idosos, crianças e deficientes. Finalmente cabe ainda referir que todo o atravessamento pedonal deve ser atempadamente visualizado por todos os condutores, assumindo aqui um papel fundamental a sinalização de posição e de pré-sinalização.

5

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi feita uma análise rigorosa das normas de intersecções de nível nacional, mais precisamente da norma JAE P5/90, tendo-se feito ao longo do trabalho várias verificações sobre a correcção dos valores apresentados para as diferentes directrizes de projecto, bem como a complementação de aspectos importantes pouco evidenciados nas normas. Há de facto algumas ambiguidades nas mesmas e é objectivo deste capítulo expor as mais relevantes.

Em relação aos dados básicos para o projecto de intersecções de nível as normas são um pouco superficiais, não esclarecendo a importância dos factores económicos e humanos. Por outro lado, a referência ao veículo tipo a utilizar no dimensionamento é feita de forma muito ligeira, não referindo o raio mínimo de manobrabilidade a que todos os veículos devem de obedecer, segundo o código da estrada. Em relação à análise do tráfego não é feita nenhuma alusão à metodologia que se deve utilizar no cálculo dos níveis de serviço de uma intersecção de nível. De referir ainda que estas normas encontram-se um pouco desactualizadas em relação ao Plano Rodoviário Nacional actual, pois na classificação funcional das estradas que se intersectam não entra ainda a classe de Estrada Regional. Tendo sido alterado o nome de Outras Estradas para Estrada Nacional.

Nas normas não é evidente o tipo de velocidade que se deve utilizar no dimensionamento dos diferentes elementos que constituem a intersecção. Não sendo claro, as normas consideram a utilização da velocidade de tráfego no caso de IP's e IC's e da velocidade base no caso de EN's e outras de classificação mais baixa. Neste trabalho fazem-se vários reparos no tipo de velocidade a utilizar para os diferentes elementos da intersecção.

Não se faz qualquer referência aos tipos de movimentos conflitos existentes em intersecções em T e em X, o que é uma lacuna pois será possível ao projectista uma melhor percepção dos problemas das intersecções deste tipo, sendo que só com a sua compreensão é que se conseguirá atenuar a sua importância negativa.

Por lei, é proibido a implantação de sinalização semafórica em intersecções da Rede Nacional, porém a norma não faz qualquer referência a essa situação.

Não especifica a importância da canalização em intersecções de nível, nem apresenta qualquer estudo sobre a sua capacidade mediante os diferentes graus de canalização da mesma. Faz ainda uma breve referência aos objectivos da canalização, não apontando soluções concretas para os conseguir atingir. O mesmo acontece para os diferentes tipos de intersecções que se podem adoptar, não esclarecendo que tipo de intersecção se deve usar mediante os volumes envolvidos da estrada principal e secundária.

Não faz qualquer referência aos indicadores de desempenho que se devem ter em conta nos critérios de selecção da melhor solução a adoptar para uma intersecção e que permitem a previsão do desempenho futuro dos vários tipos de intersecções que se podem escolher.

As normas não esclarecem qual a velocidade que se deve considerar no cálculo das distâncias de visibilidade em intersecções, no entanto apresenta os cálculos em função da velocidade base, o que está errado, pois se a norma de traçado faz o dimensionamento das concordâncias verticais em função da velocidade de tráfego alegando para tal a necessidade de satisfazer as condições de visibilidade, do mesmo modo devemos utilizar a velocidade de tráfego para todas as questões relacionadas com a mesma.

Dada a importância das vias auxiliares em intersecções de nível no aumento da segurança e da capacidade da mesma, foi feito um estudo detalhado neste trabalho sobre as mesmas. Em relação à norma, verifica-se que para o caso das vias de desaceleração os valores apresentados são escassos, sendo proposto a utilização dos valores calculados neste trabalho.

Em relação as vias de desaceleração de viragem à esquerda, a norma faz o cálculo da sua extensão considerando que o condutor apenas reduz a velocidade do veículo dentro da mesma, o que não corresponde à realidade, pois ele antecipa as condições que vai encontrar aquando da viragem e abranda ainda dentro da via de tráfego directo. Como tal os valores apresentados na norma apresentam-se sobredimensionados, sendo aconselhados os valores calculados neste trabalho.

A obrigatoriedade da utilização de vias de desaceleração nas viragens à esquerda em estradas da Rede Nacional, não exclui a necessidade de se ter que apresentar metodologia de estudo para a possibilidade de implantação das mesmas.

A norma não apresenta o método de cálculo dos raios do bisel em curva e contra-curva, nem apresenta os seus valores mediante as extensões do bisel, neste trabalho foi estudada esta questão.

Em relação as vias de aceleração não é especificado o tipo de via a utilizar, sendo considerado neste trabalho que estas vias serão sempre do tipo paralelo. Não é apresentada nenhuma metodologia de estudo para analisar a necessidade de implantação destas vias em intersecções prioritárias e não se faz referência à utilização deste tipo de vias para viragens à esquerda a partir da estrada secundária, permitindo com isso melhor o escoamento do tráfego que pretende entrar na estrada principal, em especial tráfego pesado.

Os valores apresentados na norma para a extensão total de aceleração não vêm em função do raio das curvas de concordância nem da inclinação da rasante, o que se considera errado, neste trabalho é feito o cálculo dessas extensões em função desses mesmos factores. Portanto será aconselhável a sua utilização.

Em relação aos separadores centrais, não é aconselhado a utilização da expressão preconizada pela norma no cálculo dos raios de curva e contra-curva na transição do perfil transversal tipo da estrada para o perfil transversal da intersecção, sendo apresentado neste trabalho o cálculo dos mesmos, que aliás é em tudo semelhante ao cálculo do bisel em curva e contra-curva.

Ainda na zona de transição, a norma considera a velocidade base no cálculo da sua extensão, sendo recomendado neste trabalho a utilização da velocidade de tráfego, pois trata-se de uma zona que tem como objectivo avisar atempadamente os condutores da existência de uma intersecção. Como tal, deve-se adequar às velocidades com que os veículos circulam normalmente em estrada corrente.

Na formalização da estrada secundária há a referir a grande desactualização das normas e a sua incompletude, já que apenas desenvolve para as curvas de concordância entre as estradas que se intersectam, as curvas compostas de três centros, referindo-se apenas superficialmente ao uso de

curvas de transição nas mesmas. Não fala sobre o uso da clotóide como curva de transição, e por consequência dos seus critérios de dimensionamento no caso de intersecções, bem como de soluções alternativas a esta, no caso de reduzido espaço para implantação de clotóides.

Um dos pontos mais fracos das normas é a falta de consideração de medidas de apoio aos peões, sendo estes pouco mencionados ao longo das mesmas.

Pretendeu-se assim com este trabalho, completar as normas em temas menos explorados e fazer uma verificação das metodologias de cálculo por elas adoptadas.

BIBLIOGRAFIA

- Austroroads, 1988. *Intersections at Grade*. Guide to Traffic Engineering Practice, part 5, Sydney, Australia.
- De Santa Rita, António José. *Estradas em Portugal – Da Monarquia ao Estado Novo 1900-1947*. Edições Universitárias Lusófonas, Lisboa, 2006.
- Departamento nacional de Infra-Estruturas de Transportes (DNIT). *Manual de projecto de Intersecções*. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2005.
- Departamento nacional de Infra-Estruturas de Transportes (DNIT). *Manual de Estudos de Tráfego*. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2006.
- Espanha. Dirección General de Carreteras División de Planes y Tráfico. *Recomendaciones para el proyecto de Intersecciones, moplí*. (2ª edición). Madrid, 1975.
- Estados Unidos. Federal Highway Administration. *Handbook of Safety Design and Operating Practices*. 3ª edição. Washington, D.C., 1978.
- Estados Unidos. Transportation Research Board. *Highway Capacity Manual*. 3ª edição. Washington, D.C., 2000.
- França, Adalberto Quelhas da Silva. *Apontamentos de Vias de Comunicação I*. FEUP, 1995.
- Gonzalez Roldan, Antonio Valdes. *Ingeniería de Tráfico*. Madrid: Dossat, 1971.
- Grã-Bretanha. Department of the Environment. Scottish Development Department the Welsh Office. *Roads in Rural Areas*. London, 1968.
- Grã-Bretanha. Department of the Environment. Scottish Development Department the Welsh Office. *Roads in Urban Areas*. London, 1974.
- Homburger, W.; Keel, Lester A. *Fundamentals of Traffic Engineering*. Berkeley: Univ. of California. Institute of Transportation Studies, 1992.
- Institute of Transportation Engineers. *Policy on Geometric Design Criteria for Highway and Streets (AASHTO)*. Washington, D.C., 2001.
- JAE P3-91. *Normas de Traçado*. Divisão de Estudos e Projectos da Junta Autónoma de Estradas. Edição JAE, Lisboa, Portugal, 1992.
- JAE P5/90. *Normas de Intersecções*. Divisão de Estudos e Projectos da Junta Autónoma de Estradas. Edição JAE, Lisboa, Portugal, 1990.
- Nacional Research Council. *Highway Intersection (HRB)*. Washington, D.C., 1953.
- Núñez del Pino, Jose Luis Escario y. *Caminos*. Editora Escario Ubarri, Ventura. Madrid, 1960.
- Núñez del Pino, Jose Luis Escario y. *Estudio del Trazado y Construcción de la Explanación*. Editora Escario Ubarri, Ventura. Madrid, 1967.
- Road Research Laboratory. *Research on Road Safety*. London: Her Majesty's Stationery Office, 1987.
- Roger Coquand. *Routes, Circulation-Tracé Construction*. Editions Eyrolles. Paris, 1962.

TD 42/95. *Geometric Design of Major/Minor Priority Junctions*. Department of Transport, Part 6 of Design Manual for Roads and Bridges. Road Geometry Junctions. U.K., 1995.

Textos Didáticos. *Apontamentos de Circulação e Transportes 1*. FEUP, 2008.

TRB - Transportation Research Board: *Highway Capacity Manual - Special Report 209*. National Research Council. Washington, D.C., 1995.

TRB - Transportation Research Board: *Highway Capacity Manual - HCM 2000*. National Research Council. Washington, D.C., 2000.

(1). Cardoso, João P.L. *Estudo das Relações Entre as Características da Estrada, a Velocidade e os Acidentes Rodoviários. Aplicação a Estradas de Duas Vias e Dois Sentidos*. Tese elaborada no LNEC para Doutoramento no IST, 1996.

<http://maps.google.pt/>. (10-05-2010)

ANEXOS

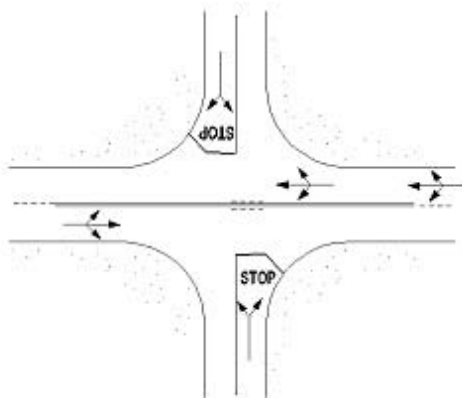
A. MÉTODO HCM PARA INTERSECÇÕES PRIORITÁRIAS

INTERSECÇÕES PRIORITÁRIAS

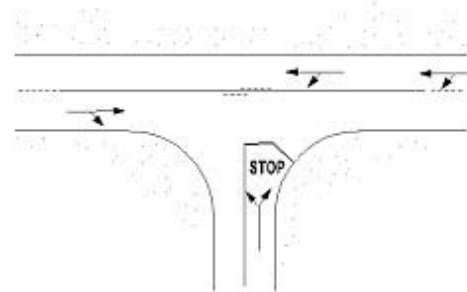
Objectivo: Determinação do Nível de Serviço

Âmbito:

- Intersecções prioritárias - intersecção de nível caracterizada pela atribuição, através de sinalização adequada, de diferentes níveis de prioridade a diferentes movimentos de tráfego;



Cruzamentos (4 ramos)



Entroncamentos (3 ramos)

- Correntes de Tráfego;

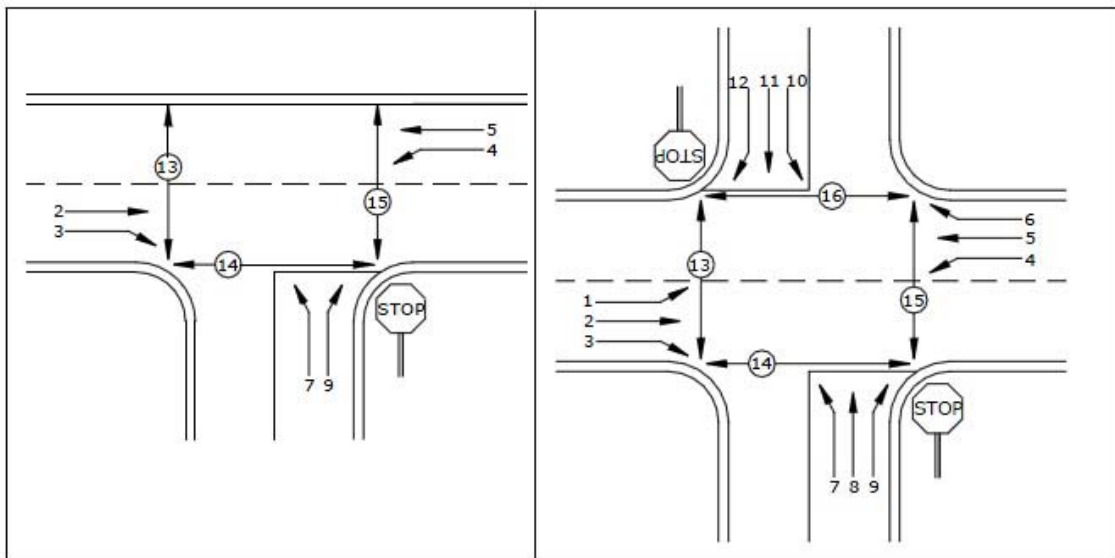


Figura 1.A - Correntes de tráfego em cruzamentos prioritários (extracto do HCM2000).

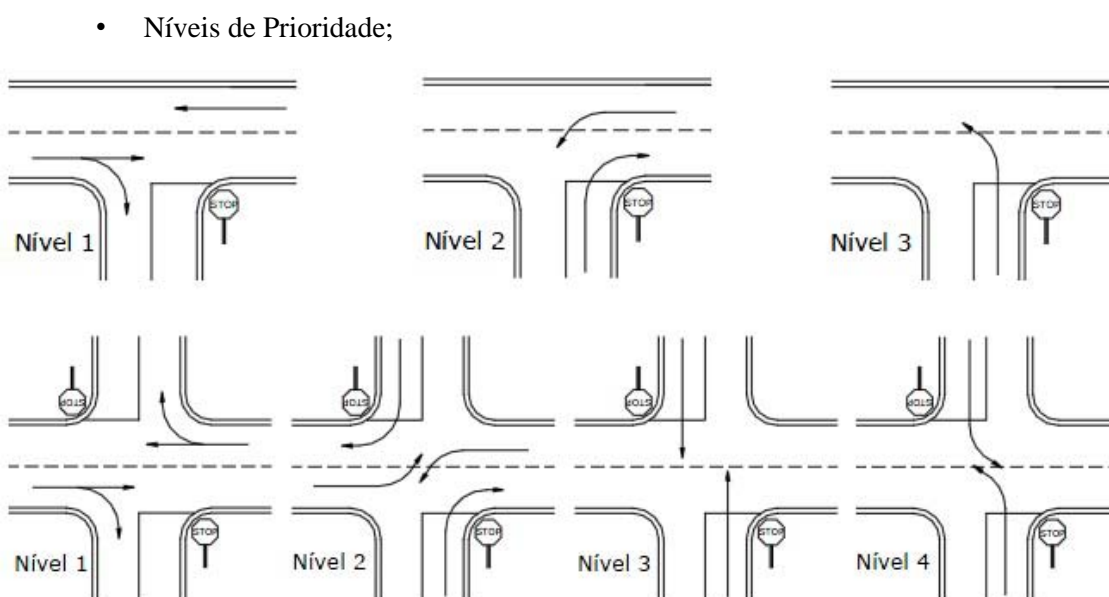


Figura 2.A - Níveis hierárquicos (extracto do HCM2000).

Critérios: Atraso

- Atraso por movimento;
- Atraso por entrada;
- Atraso da intersecção.

$$d = f(\text{capacidade; débito; período análise-T=15 minutos})$$

Por consequente “d” vem em função, de:

- Volumes conflituantes;
- Intervalo crítico;
- Intervalo mínimo;
- Capacidade potencial;
- Impedância;
- Vias partilhadas.

Metodologia:

$$d = \frac{3600}{C_{m,x}} + 900T \left[\frac{v_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{C_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}} \right) \left(\frac{v_x}{C_{m,x}} \right)}{450T}} \right] + 5$$

- a) Determinação do nível hierárquico de cada movimento (Figura 2.A);
- b) Determinar os volumes de ponta de cada movimento;
- c) Determinar os volumes conflituantes para cada movimento não prioritário (Quadro 1.A);
- d) Calcular o intervalo crítico (t_c [seg]).

$$t_c = t_{c,base} + t_{c,HV} \times P_{HV} + t_{c,G} \times G - t_{c,T} - t_{3,LT}$$

em que:

$t_{c,base}$ - Intervalo crítico de base (Quadro 2.A).

$t_{c,HV}$ - Factor de ajustamento devido aos veículos pesados, tomando o valor de 1.0 para estradas de 2 vias e o valor de 2.0 para estradas 2x2 (seg.).

P_{HV} - Proporção de veículos pesados.

$t_{c,G}$ - Factor de ajustamento devido à inclinação das vias, com o valor de 0.1 para os movimentos 9 e 12, e 0.2 para os movimentos 7, 8, 10 e 11 (seg.).

G - Declive longitudinal das vias, em percentagem.

$t_{c,T}$ - Factor de ajustamento relacionado com a possibilidade de atravessamento em duas fases, sendo que se o atravessamento for em duas fases o factor é igual a 1.0 para cada uma das fases, e se for numa única fase é de 0.0(seg.).

$t_{3,LT}$ - Factor de ajustamento relacionado com a geometria da intersecção, tomando-se o valor de 0.7 para o movimento de viragem à esquerda a partir da via secundária de entroncamentos e 0.0 nos restantes casos (seg.).

- e) Calcular o intervalo mínimo (t_f [seg])

$$t_f = t_{f,base} + t_{f,HV} \times P_{HV}$$

em que:

$t_{f,base}$ - Intervalo mínimo de base dado (Quadro 2.A).

$t_{f,HV}$ - Factor de ajustamento relacionado com os veículos pesados, tomando o valor de 0.9 para estradas de 2 vias e o valor de 1.0 para estradas 2x2 (seg.).

P_{HV} - Proporção de veículos pesados.

- f) Calcular a capacidade potencial ($C_{p,x}$ [(veíc./h)])

$$C_{p,x} = v_{c,x} \frac{\exp(-v_{c,x}.t_c / 3600)}{1 - \exp(-v_{c,x}.t_f / 3600)}$$

em que:

$v_{c,x}$ - Volume conflituante com o movimento x (veíc./h).

t_c - Intervalo crítico (seg.).

t_f - Intervalo mínimo (seg.).

g) Calcular Capacidade real ($C_{m,k}$ [veíc./h]) / Calcular a impedância (f_k)

$$C_{m,k} = C_{p,k} \times f_k$$

em que:

$C_{p,k}$ - Capacidade potencial do movimento não prioritário k (veíc./h).

f_k - Factor de impedância.

Quadro 3.A

ou

Nível 2

$$f_k = 1$$

Nível 3

$$f_k = \prod_j p_{0,j} \quad j - \text{movimentos do nível 2}$$

em que:

$$p_{0,j} = 1 - \frac{v_j}{C_{m,j}}$$

com:

$p_{0,j}$ - Probabilidade do movimento conflituante j de ordem superior não formar fila de espera.

v_j - Volume de chegada do movimento j (veíc./h).

$C_{m,j}$ - Capacidade real do movimento j (veíc./h).

Nível 4

$$f_k = p_k \cdot p_{0,j} \quad j - \text{movimentos do nível 2}$$

em que:

$$p' = 0,65p'' - \frac{p''}{p''+3} + 0,6\sqrt{p''}$$

com:

p' - ajustamento ao factor de impedância relativos aos movimentos de viragem à esquerda a partir da via principal e de atravessamento a partir da via secundária.

$$p'' = (p_{0,i})(f_i)$$

1 - movimento do nível 3

h) Casos Especiais

- Vias Partilhadas

$$C_{SH} = \frac{\sum v_i}{\sum \left(\frac{v_i}{C_{m,i}} \right)}$$

- Avanço em 2 fases

$$C_T = \begin{cases} \frac{a}{y^{m+1} - 1} \left[y(y^m - 1)(C_{II} - v_L) + (y - 1)C_{m,x} \right] & \text{para } y \neq 1 \\ \frac{a}{m+1} \left[m(C_{II} - v_L) + C_{m,x} \right] & \text{para } y = 1 \end{cases}$$

em que:

$$a = 1 - 0,32 \exp(-1,3\sqrt{m})$$

$$y = \frac{C_I - C_{m,x}}{C_{II} - v_L - C_{m,x}}$$

com:

m - número de lugares de stockagem no interior do cruzamento (veíc.).

C_I - Capacidade do movimento na 1ª fase do processo de atravessamento (veíc./h).

C_{II} - Capacidade do movimento na 2ª fase do processo de atravessamento (veíc./h).

v_L - Débito horário do movimento de viragem à esquerda a partir da via prioritária (veíc./h).

$C_{m,x}$ - Capacidade do movimento não prioritário considerando uma única fase de atravessamento (veíc./h).

Nota: Usar $v_L=v_1$, quando se consideram os movimentos 7 e 8, e $v_L=v_4$, quando se consideram os movimentos 10 e 11.

- i) Calcular o atraso (d [seg/veíc])

$$d = \frac{3600}{C_{m,x}} + 900T \left[\frac{v_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{C_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}} \right) \left(\frac{v_x}{C_{m,x}} \right)}{450T}} \right] + 5$$

em que:

v_x - Débito horário de chegada do movimento x em veíc./h.

$C_{m,x}$ - Capacidade real do movimento x em veíc./h.

T - Período de análise (geralmente 15 min -> T=0,25).

Nota: No caso de se verificar que a procura excede a capacidade num período superior a 15 minutos, o atraso deve ser calculado para um período de análise igual ao período de saturação.

- j) Determinar o Nível de Serviço

Quadro 4.A

Indicadores de Desempenho

- Atraso (d [seg/veíc])
- Atraso médio da entrada A (d_A [seg./veíc.])

$$d_A = \frac{d_D v_D + d_{AT} v_{AT} + d_E v_E}{v_D + v_{AT} + v_E}$$

em que:

d_D, d_{AT}, d_E - Atraso médio dos movimentos de viragem à direita, atravessamento e viragem à esquerda (seg./veíc.).

v_D, v_{AT}, v_E - Volumes de chegada dos movimentos de viragem à direita, atravessamento e viragem à esquerda (veíc./h).

- Atraso médio da intersecção (d_{int} [seg./veíc.]

$$d_{int} = \frac{d_{A,1} v_{A,1} + d_{A,2} v_{A,2} + d_{A,3} v_{A,3} + d_{A,4} v_{A,4}}{v_{A,1} + v_{A,2} + v_{A,3} + v_{A,4}}$$

em que:

$d_{A,x}$ - Atraso médio da entrada x (seg./veíc.).

$v_{A,x}$ - Volumes de chegada da entrada x (veíc./h).

- Comprimento da fila de espera

Fila máxima-Percentil 95 (Q_{95} [veíc.])

$$Q_{95} \approx 900T \left[\frac{v_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{C_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}} \right) \left(\frac{v_x}{C_{m,x}} \right)}{150T}} \right] \left(\frac{C_{m,x}}{3600} \right)$$

em que:

v_x - Débito horário de chegada do movimento x em veíc./h.

$C_{m,x}$ - Capacidade real do movimento x em veíc./h.

T - Período de análise (geralmente 15 min -> T=0,25).

Fila média (Q [veíc.])

$$\bar{Q} = q \cdot d$$

Quadro 1.A – Volumes de conflito (extracto do HCM2000).

MOV. NÃO PRIORITÁRIO	MOVIMENTOS CONFLITUANTES	VOLUMES CONFLITUANTES
Viragem à esquerda da via prioritária ($v_{c,1}$; $v_{c,4}$)		$v_{c,1} = v_5 + v_6^{(3)} + v_{16}$ $v_{c,4} = v_2 + v_3^{(3)} + v_{15}$
Viragem à direita da via secundária ($v_{c,9}$; $v_{c,12}$)		$v_{c,9} = \frac{v_2^{(2)}}{N} + 0.5v_3^{(1)} + v_{14} + v_{15}$ $v_{c,12} = \frac{v_5^{(2)}}{N} + 0.5v_6^{(1)} + v_{13} + v_{16}$
Atravessamentos ($v_{c,8}$; $v_{c,11}$) ^(*)		1ª Fase $v_{c,I,8} = 2v_1 + v_2 + 0.5v_3^{(1)} + v_{15}$ $v_{c,I,11} = 2v_4 + v_5 + 0.5v_6^{(1)} + v_{16}$ 2ª Fase $v_{c,II,8} = 2v_4 + v_5 + v_6^{(3)} + v_{16}$ $v_{c,II,11} = 2v_1 + v_2 + v_3^{(3)} + v_{15}$
Viragem à esquerda da via secundária ($v_{c,7}$; $v_{c,10}$) ^(*)		1ª Fase $v_{c,I,7} = 2v_1 + v_2 + 0.5v_3^{(1)} + v_{15}$ $v_{c,I,10} = 2v_4 + v_5 + 0.5v_6^{(1)} + v_{16}$ 2ª Fase $v_{c,II,7} = 2v_4 + \frac{v_5}{N} + 0.5v_6^{(6)} + 0.5v_{12}^{(4,5)} + 0.5v_{11} + v_{13}$ $v_{c,II,10} = 2v_1 + \frac{v_2}{N} + 0.5v_3^{(6)} + 0.5v_9^{(4,5)} + 0.5v_8 + v_{14}$

- (1) Se existir via de desaceleração no ramo principal, elimina-se v_3 e v_{11} ;
- (2) No caso de múltiplas vias no ramo principal, o tráfego a atribuir à via mais à direita será dado por v_2/N ou v_5/N , onde N é o número de vias afectas ao movimento de ida em frente;
- (3) Se a viragem à direita do ramo prioritário for sujeita a perda de prioridade na entrada da via secundária devido ao atravessamento pedonal, elimina-se v_6 e v_3 ;
- (4) Se a viragem à direita do ramo secundário for provida de ilhéu direccionado e associada a uma perda de prioridade, elimina-se v_9 e v_{12} ;
- (5) No caso de múltiplas vias na estrada principal, ou se a viragem à direita a partir da via secundária for provida de ilhéu direccionado, elimina-se v_9 e v_{12} ;
- (6) No caso de múltiplas vias no ramo principal, elimina-se v_3 no tráfego conflituante de 10 e v_6 no conflituante de 7.
- (*) No caso de não existir atravessamento em duas fases, o tráfego conflituante corresponde ao somatório dos tráfegos relativos à 1ª e 2ª fase de atravessamento.

Quadro 2.A – Intervalo crítico e mínimo de base (extracto do HCM2000).

Factores de impedância		
Viragem à esquerda da via principal (v ₁ e v ₄)	f ₁ =1,0	f ₄ =1,0
Viragem à direita da via secundária (v ₉ e v ₁₂)	f ₉ =1,0	f ₁₂ =1,0
Atravessamentos (v ₈ e v ₁₁)	f ₈ =p _{0,4} x p _{0,1}	f ₁₁ =p _{0,4} x p _{0,1}
Viragem à esquerda da via secundária (v ₇ e v ₁₀)	f ₇ =p' ₇ x p _{0,12} com, $p'_7 = 0,65p''_7 - \frac{P_7''}{p_7'' + 3} + 0,6\sqrt{p_7''}$ p'' ₇ =p _{0,11} x p _{0,4} x p _{0,1}	f ₁₀ =p' ₁₀ x p _{0,9} com, $p'_{10} = 0,65p''_{10} - \frac{P_{10}''}{p_{10}'' + 3} + 0,6\sqrt{p_{10}''}$ p'' ₁₀ =p _{0,8} x p _{0,4} x p _{0,1}

Quadro 3.A - Factores de ajustamento devido à impedância dos veículos (extracto do HCM2000).

TIPO DE MOVIMENTO	INTERVALO CRÍTICO (t _c)		INTERVALO MÍNIMO (t _r)
	2 VIAS	4 VIAS	
Vir. Esq. Via prioritária	4,1	4,1	2,2
Vir. Dir. Via secundária	6,2	6,9	3,3
Atravessamento	6,5	6,5	4,0
Vir. Esq. Via secundária	7,1	7,5	3,5

Quadro 4.A – Níveis de serviço e atrasos (extracto do HCM2000).

NÍVEL DE SERVIÇO	ATRASOS (SEG.)
A	<10
B	10 a 15
C	15 a 25
D	25 a 35
E	35 a 50
F	>50

B. TRAÇADO DA ILHA SEPARADORA

TRAÇADO DA ILHA SEPARADORA

B.1 - Como se referiu oportunamente, em 3.4.3, o ângulo de intersecção de duas estradas influencia as características operacionais e a segurança. Numa intersecção em ângulo recto a distância a percorrer pelas correntes de tráfego que se cruzam é menor, pelo que é a solução mais desejável. O traçado da ilha separadora neste caso é o indicado na Figura 1.B, o qual se refere a seguir detalhadamente:

1. Traçam-se duas semi-rectas paralelas ao eixo da estrada secundária as quais definem a largura máxima da ilha separadora (5,0 m quando for nacional).
2. Define-se o intradorso da curva de viragem à esquerda de saída da estrada secundária, cujo raio será o indicado no Quadro 19. No caso de "Intersecções em cruz" é necessário assegurar que não haja interferência entre as trajectórias dos veículos que virem simultaneamente à esquerda, a partir da estrada secundária.
3. Define-se o intradorso da curva de viragem à esquerda de saída da estrada principal, cujo raio é também indicado no Quadro 19.
4. Define-se a cabeça jusante da ilha separadora, cujo raio ($> 0,75$ m) deverá ser tal que esta se situe no mínimo a 2,0 m, e no máximo a 4,0 m, do limite da faixa de rodagem da estrada principal.
5. Traçam-se duas semi-rectas tangentes ao intradorso das curvas de viragem à esquerda, e que interceptem o eixo da estrada secundária a 40,0 m da faixa de rodagem da estrada principal.
6. Traça-se a cabeça montante da ilha separadora, a qual terá a largura de 1,5 m, e ficará afastada 1,0 m da faixa de rodagem de saída da estrada secundária.
7. Traça-se uma semi-recta tangente à cabeça montante e ao intradorso da curva de viragem à esquerda de saída da estrada secundária.

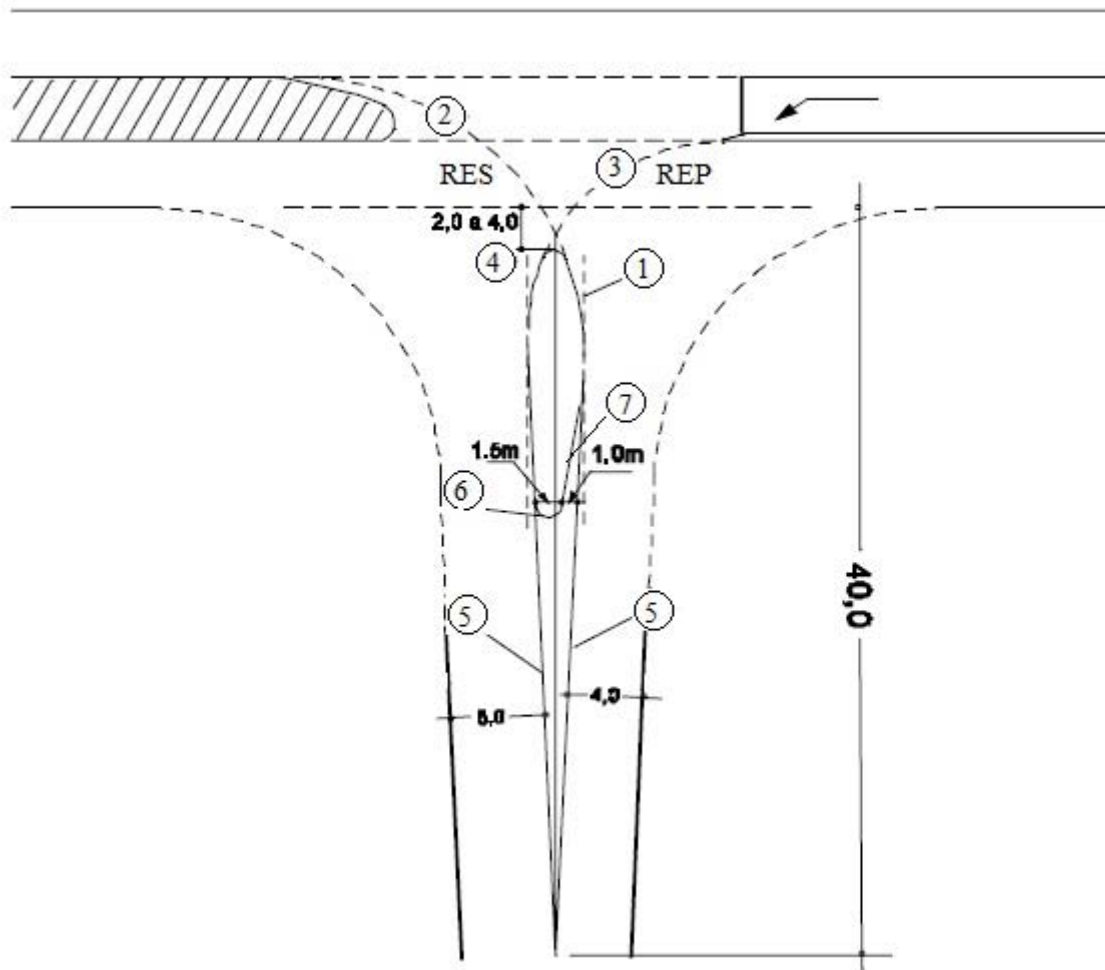


Figura 1.B – Esquema do traçado da ilha separadora com $80^{\circ} < \beta < 120^{\circ}$ (extractos da JAE P5/90).

B.2 - Quando o ângulo de intersecção for compreendido entre 100° e 120° , o traçado da ilha separadora será efectuado de forma idêntica à referida anteriormente. No entanto, é preferível adoptar o traçado correspondente a ângulos superiores a 120° , o qual facilita a leitura da intersecção. Neste caso o traçado da ilha separadora é o indicado na Figura 2.B, o qual a seguir se refere em pormenor:

1. Traça-se uma curva ($R > 50,0$ m) de modo ao eixo da estrada secundária ser perpendicular à estrada principal.
2. Define-se o intradorso da curva de viragem à esquerda de saída da estrada principal, cujo raio será o indicado no Quadro 19. Esta curva será tangente ao eixo deformado da estrada secundária.
3. Define-se o intradorso da curva de viragem à esquerda de saída da estrada secundária de forma a assegurar a largura máxima da ilha separadora (5,0 m quando for nacional).
4. Define-se a cabeça jusante da ilha separadora, cujo raio ($> 0,75$ m) deverá ser tal que esta se situe no mínimo a 2,0 m, e no máximo a 4,0 m, do limite da faixa de rodagem da estrada principal.
5. Define-se a cabeça montante da ilha separadora ($R = 0,75$), cujo comprimento deverá ser cerca de 20,0 m.
6. Traça-se uma semi-recta tangente ao intradorso da curva de viragem à esquerda de saída da estrada secundária e à cabeça montante da ilha separadora.
7. Traça-se um arco de círculo tangente ao limite direito da ilha separadora e ao eixo da estrada secundária, cujo raio deve ser tal que assegure uma zona interdita à circulação com cerca de 15,0 metros de extensão e fique afastado, no mínimo, 1,0 m da cabeça montante.

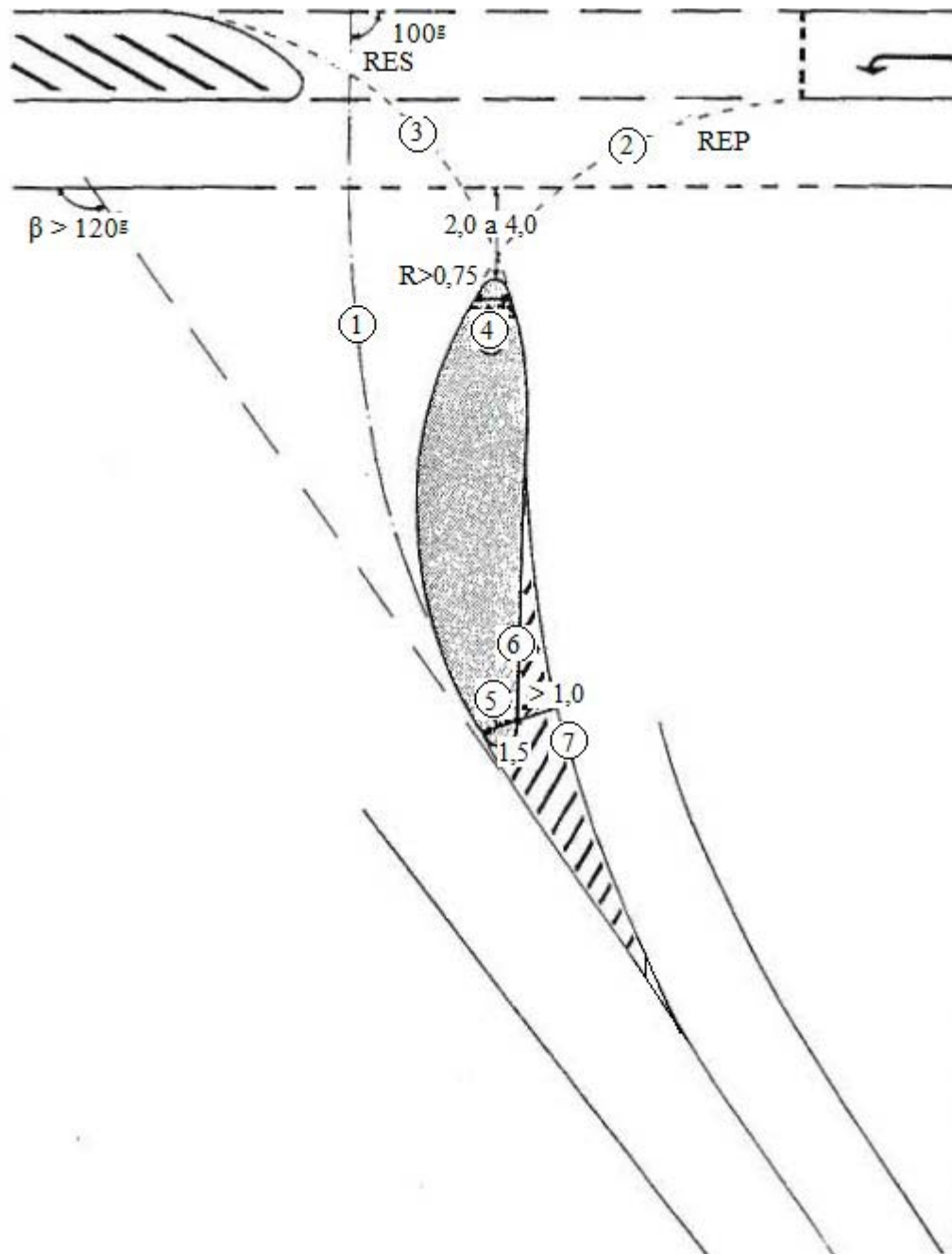


Figura 2.B – Esquema do traçado da ilha separadora com $\beta > 120^\circ$ (extractos da JAE P5/90).

B.3 - No caso do ângulo da intersecção ser compreendido entre 80° e 100° o traçado da ilha separadora, poderá ser efectuado como se refere em B.1. No entanto, é preferível adoptar o traçado a considerar sempre que o ângulo da intersecção seja inferior a 80° , Figura 3.B, o qual se refere a seguir:

1. Traça-se uma curva ($R > 50,0$ m) a fim do eixo da estrada secundária ser perpendicular à estrada principal.
2. Define-se o intradorso da curva de viragem à esquerda de saída da estrada secundária, cujo raio será o indicado no Quadro 19. Esta curva deverá ser tangente ao eixo deformado da estrada secundária.
3. Define-se o intradorso da curva de viragem à esquerda de saída da estrada principal, de forma a assegurar a largura máxima da ilha separadora (5,0 m quando a estrada secundária for nacional).
4. Define-se a cabeça jusante da ilha separadora, cujo raio ($> 0,75$ m) deverá ser tal que esta se situe no mínimo a 2,0 m, e no máximo a 4,0 m, do limite da faixa de rodagem da estrada principal.
5. Define-se o comprimento da ilha separadora (20,0 m) e traça-se a cabeça montante ($R = 0,75$) a qual deverá ficar afastada, no mínimo, 1,0 m do eixo deformado da estrada secundária.
6. Traça-se uma semi-recta tangente ao intradorso da curva de viragem à esquerda de saída da estrada principal e à cabeça montante da ilha separadora.
7. Traça-se um arco de círculo tangente ao limite esquerdo da ilha separadora e ao eixo da estrada secundária, cujo raio deve ser tal que defina uma zona interdita à circulação com cerca de 15,0 m de extensão.

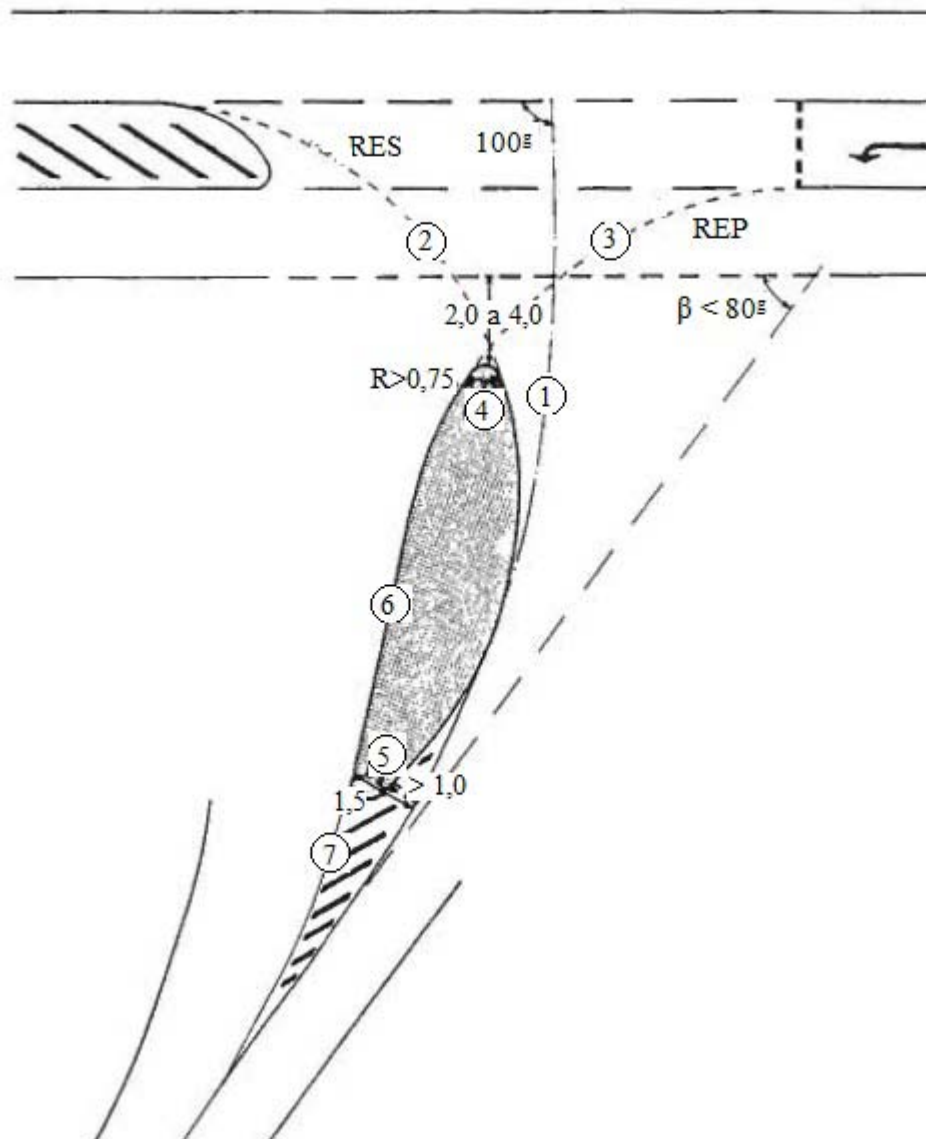


Figura 3.B – Esquema do traçado da ilha separadora com $\beta < 80^\circ$ (extractos da JAE P5/90).

C. TERMINOLOGIA

ESTRADAS

Estrada principal ou prioritária - Estrada cujo tráfego tem prioridade de passagem em todas as intersecções com outras estradas.

Estrada secundária - Estrada de menor importância e que cede a prioridade sempre que cruza com uma estrada principal.

Itinerário Principal (IP) - Estrada de maior interesse nacional, que serve de base de apoio a toda a rede das estradas nacionais, e que assegura a ligação entre centros urbanos com influência supra-districtal e destes com os principais portos, aeroportos e fronteiras.

Itinerário Complementar (IC) - Estrada que assegura ligação de interesse regional, assim como as envolventes das áreas metropolitanas de Lisboa e do Porto.

Via Rápida - Estrada destinada ao tráfego motorizado, com parte ou a totalidade dos acessos condicionados e, geralmente, sem intersecções.

Auto-estrada - Via rápida com todos os acessos condicionados, sem intersecções e destinada exclusivamente a veículos motorizados

Via de serviço - Estrada cuja finalidade é canalizar e distribuir o tráfego local.

TRÁFEGO RODOVIÁRIO

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.

Capacidade de tráfego - Número máximo de veículos que, por unidade de tempo, pode passar numa dada secção da estrada, em certas condições.

Velocidade base - Velocidade estabelecida na elaboração do projecto, que condiciona as características geométricas da estrada.

Velocidade de operação - Maior velocidade média possível numa estrada, para um dado veículo e sob determinadas condições.

Velocidade média do tráfego - Média das velocidades médias de cada um dos veículos que circulam numa estrada, durante um período determinado.

Volume de tráfego - Número de veículos que passam numa dada secção da estrada, durante um período determinado. Exprime-se normalmente em tráfego horário, diário, semanal ou anual.

Volume da n^a hora de ponta anual - Volume horário de tráfego que, numa estrada, só é excedido n-1 vezes durante um ano.

Volume horário de projecto - Volume horário futuro a considerar no projecto, normalmente o correspondente à 30^a hora de ponta no ano horizonte.

INTERSECÇÕES

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.

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.

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 do que 120 graus.

Intersecção em "Cruz" - Intersecção com quatro ramos, em que o menor ângulo é superior a 80 graus.

Intersecção em "X" - Intersecção com quatro ramos, em que um dos ângulos é inferior a 80 graus.

Intersecção múltipla - Intersecção com cinco ou mais ramos.

Intersecção giratória - Intersecção em que as diversas correntes de tráfego convergem e divergem numa faixa de rodagem de sentido único em torno de uma ilha central, o que impede o cruzamento directo dos veículos.

Intersecção canalizada - Intersecção em que o movimento dos veículos se efectua em vias definidas mediante ilhas direccionais.

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.

Ilha central - Zona interdita à circulação de veículos, situada no centro dum cruzamento giratório, e geralmente de forma circular ou oval.

Ilha direccional - Zona delimitada na plataforma, interdita à circulação de veículos, que canaliza o tráfego para passagens bem definidas.

Ilha separadora - Zona delimitada na plataforma, interdita à circulação de veículos, que tem função de separador de sentidos ou de vias.

Ponto de conflito - Ponto em que os eixos de duas vias de tráfego se cruzam ao mesmo nível.

Ramo - Secção de qualquer das estradas que convergem numa intersecção, situada fora dela.

Ramo de entrada - Parte do ramo que antecede imediatamente a intersecção,

Ramo de saída - Parte do ramo que sucede imediatamente a intersecção.

Separador - Zona ou dispositivo (e não simples marca), destinado a separar tráfegos do mesmo sentido ou de sentidos opostos.

Separador de sentidos - Separador de duas correntes de tráfego de sentidos opostos.

Separador de vias - Separador de duas vias de tráfego.

Separador lateral - Separador de duas estradas, uma das quais é de acesso livre e a outra de acesso condicionado ou de grande trânsito.

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.

Via de desaceleração - Via destinada a permitir que os veículos que saiam duma estrada abrandem a velocidade, já fora da corrente de tráfego principal.