

UNIVERSIDADE DO PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA

AVALIAÇÃO DE TRAÇADOS RODOVIÁRIOS

ANTÓNIO MARIA PINTO MOREIRA

DEZEMBRO 2000



FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

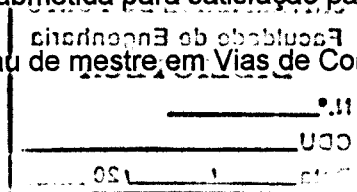
AVALIAÇÃO DE TRAÇADOS RODOVIÁRIOS

ANTÓNIO MARIA PINTO MOREIRA

Licenciado em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da
Universidade do Porto

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do

grau de mestre em Vias de Comunicação



Dissertação realizada sob a supervisão do Professor Carlos Manuel
Rodrigues do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de
Engenharia da Universidade do Porto

Dezembro 2000

625(043)/MORA/AVA

UNIVERSIDADE DO PORTO
Faculdade de Engenharia
BIBLIOTECA M
N.º <u>51949</u>
CDU <u>625(043)</u>
Data <u>23, 4</u> / 20 <u>01</u>

RESUMO

A elaboração de um projecto rodoviário é uma tarefa complexa, que envolve o dimensionamento de diferentes elementos específicos, de forma que resulte uma estrada apta ao escoamento de veículos em segurança e com graus de comodidade aceitáveis.

A adopção de características geométricas limite, fixadas em função de uma velocidade estabelecida, garante condições de segurança em cada elemento isolado do traçado, mas poderá não ser suficiente para propiciar a qualidade de circulação e de comodidade desejada pelos seus utentes.

Só através de métodos de análise global de qualidade do projecto rodoviário, que permitam a avaliação da homogeneidade do traçado e da consistência da estrada, se poderá avaliar se os diferentes elementos do traçado constituem uma sequência equilibrada e coordenada.

A existência de uma metodologia levará a uma menor dependência da experiência do projectista e originará uma melhor uniformização de análise da qualidade de um projecto.

A garantia de uma variação homogénea da velocidade ao longo de todo o traçado, a sua balizagem em torno da velocidade pretendida para o projecto e a existência de distâncias de visibilidade adequadas, são condições imprescindíveis à segurança e à qualidade da circulação rodoviária.

ABSTRACT

The making of a highway project is a complex task, that involves the evaluation of different specific elements, so that it results a capable highway to the flowing of vehicles in safety and with acceptable of comfort.

The utilisation of limit geometric characteristics, fixed in function of an established speed, guarantees safety conditions in each isolated element of the geometric design, but it may not be enough to propitiate the quality of circulation and the comfort wanted by its users.

Only through global analysis methods of quality of the highway project, that allow the evaluation of the homogeneity of the geometric design and the consistency of the highway, can be evaluated if the different elements of the geometric design constitute a balanced and coordinate sequence.

The existence of a methodology will conduct to a smaller dependence of the experience of the designer and it will lead to a better equality of the analysis of the design quality.

The guaranty of a homogeneous variation of the speed along all the design project, the establishing of limits around the wanted speed for the design project and the existence of a appropriate visibility distances, are indispensable conditions to the safety and the quality of the circulation.

RÉSUMÉ

L'étude d'un projet d'une route est une tâche complexe qui implique le dimensionnement de différents éléments spécifiques, d'une façon qui le résultat sera une route capable de la circulation des véhicules avec sécurité et avec un degré de commodité acceptable.

L'utilisation de caractéristiques géométriques limite, fixées en fonction d'une vitesse établie, garantit les conditions de sécurité dans chacun des éléments du tracé, mais ça peut n'être pas suffisant pour donner la qualité de circulation et le confort voulu par ses utilisateurs.

Seulement selon les méthodes de analyse global de qualité du projet de la route, qui permet l'évaluation de l'homogénéité du dessin géométrique et de la consistance de la route, on peut évaluer si les différents éléments du dessin géométrique constituent une séquence équilibrée et coordonnée.

L'existence d'une méthodologie conduira à une plus petite dépendance de l'expérience du dessinateur et il mènera à une meilleure égalité de l'analyse de la qualité du projet.

La garantie d'une variation homogène de la vitesse le long de tout le tracé, sa balisage autour de la vitesse désirée pour le projet et l'existence d'une distance de visibilité appropriée, sont des conditions indispensables à la sécurité et la qualité de la circulation.

AGRADECIMENTOS

Ao apresentar o presente trabalho não posso deixar de exprimir o meu profundo agradecimento a todos os que me encorajaram, incentivaram e ajudaram na sua realização, nomeadamente os colegas Aquino Paredes pelo apoio constante, Rui Leitão pelo empenhamento que teve na sua efectivação e José Sousa Costa pelo despacho que permitiu esta aventura.

De uma forma muito especial quero transmitir o meu muito obrigado às minhas três Marias pelo apoio e estímulo que me deram e expressar-lhes o sentimento que independentemente da idade vale a pena evoluir.

Em particular quero agradecer ao meu amigo e colega Professor Carlos Manuel Rodrigues toda a força e orientação dadas no desenvolvimento deste trabalho.

ÍNDICE

1 – INTRODUÇÃO.....	1
2 – NORMA DE TRAÇADO JAE P3/94.....	8
2.1 – Fases de um projecto rodoviário.....	8
2.2 – Objectivo e campo de aplicação da Norma de Traçado.....	12
2.3 – Definições e conceitos.....	13
2.3.1 – Velocidade.....	13
2.3.2 – Visibilidade.....	18
2.4. – Geometria.....	23
2.4.1. – Traçado em planta.....	23
2.4.1.1 – Alinhamentos rectos.....	24
2.4.1.2 – Curvas circulares.....	25
2.4.1.3 – Curvas de transição.....	32
2.4.1.4 – Homogeneidade de traçado em planta.....	34
2.4.2 – Traçado em perfil longitudinal.....	34
2.4.2.1 – Trainéis.....	35
2.4.2.2 – Concordâncias verticais.....	36
2.4.2.3 – Vias adicionais.....	40
2.4.3 – Coordenação de traçado em planta e perfil longitudinal.....	41
2.5 – Perfil transversal.....	42
2.6 – Controlo dos projectos.....	44
3 – A HOMOGENEIDADE E A CONSISTÊNCIA NOS TRAÇADOS RODOVIÁRIOS.....	48
3.1 – Conceitos de homogeneidade e consistência.....	48
3.2 – A avaliação do traçado no objectivo da procura de consistência.....	51
3.3 – Análise sobre velocidades.....	52
3.3.1 – Factores influentes na velocidade.....	54
3.3.1.1 – Condutor.....	54
3.3.1.2 – Estrada.....	56
3.3.1.3 – Tráfego.....	58
3.3.1.4 – Veículo.....	59
3.3.1.5 – Envolvente.....	59

3.3.2 – Modelos de determinação de velocidades	60
3.3.3 – Modelos de velocidades desenvolvidos em Portugal	66
3.3.3.1 – Modelos de estimativa de velocidade em recta	71
3.3.3.2 – Modelos de estimativa de velocidade em curva	72
3.3.3.3 – Quadros para cálculo da V85	77
3.3.4 – Homogeneidade em elementos geométricos isolados	81
3.3.5 – Homogeneidade entre elementos geométricos sucessivos	83
3.4 – Análise sobre segurança	87
3.4.1 – Acidentes de tráfego	87
3.4.2 – Perfil transversal	90
3.4.3 – Alinhamento horizontal.....	91
3.4.4 – Alinhamento vertical.....	93
3.4.5 – Distância de visibilidade.....	95
3.4.6 – Volume de tráfego.....	96
3.4.7 – Estabilidade do veículo	96
3.5 – Análise sobre desempenho	99
3.5.1 – Carga de condução.....	99
3.5.2 – Expectativa de condução	102
3.5.3 – Componente ambiental da estrada	104
4 – INDICADORES DE QUALIDADE DE TRAÇADOS RODOVIÁRIOS	105
4.1 – Enquadramento	105
4.2 – Cruzamento entre parâmetros mínimos indicados na Norma P3/94.....	106
4.3 - Principais indicadores para o controlo de um projecto de traçado.....	111
4.3.1 – Controlo dimensional dos elementos geométricos	113
4.3.2 – Diagrama de velocidades específicas	116
4.3.3 – Distâncias de visibilidade	122
4.3.3.1 – Diagrama de visibilidade do traçado em planta	124
4.3.3.2 – Diagrama de visibilidade para o traçado em perfil longitudinal	129
4.3.3.3 – Diagrama de visibilidade conjunto planta / perfil longitudinal	134
4.3.4 – Outros indicadores de controlo de qualidade	140
4.4 – Análise de procedimentos na avaliação de um projecto de traçado	144
5 – CONCLUSÕES.....	150
BIBLIOGRAFIA	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1– Combinação de raios desejáveis entre curvas circulares sucessivas.....26

Figura 2 – Variação de RO e RN com VB 31

Figura 3 – Comparação entre modelos de velocidade em curva e as velocidades específicas
definidas na Norma P3/94 74

Figura 4 – Distâncias de visibilidade no traçado em planta 126

Figura 5 – Construção geométrica para cálculo da distância de visibilidade em recta 126

Figura 6 – Distâncias de visibilidade no traçado em perfil longitudinal 131

Figura 7 – Construção geométrica da distância de visibilidade numa concordância convexa
..... 131

Figura 8 – Diagrama de distâncias de visibilidade – curva circular em planta 133

Figura 9 – Diagrama de distâncias de visibilidade – concordância convexa em perfil
longitudinal 133

Figura 10 – Diagrama de distâncias de visibilidade do traçado em planta 137

Figura 11 – Diagrama de distâncias de visibilidade do traçado em perfil longitudinal..... 138

Figura 12 – Diagrama de distâncias de visibilidade conjunto planta / perfil longitudinal 139

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação entre RN e RA com os raios resultantes das limitações de variação da VE.....	17
Quadro 2 - Análise dos raios entre curvas sucessivas	27
Quadro 3 - Verificação da variação de VE entre curvas sucessivas.....	28
Quadro 4 - Comparação entre RO e RN	30
Quadro 5 - Análise comparativa dos parâmetros mínimos das clotóides	33
Quadro 6 – Resumo das Normas de Traçado.....	47
Quadro 7 - Modelo de Islam e Seneviratne.....	64
Quadro 8 – Comparação de modelos de velocidade em curva com as velocidades específicas definidas na Norma P3/94.....	74
Quadro 9 – V_{85} em recta para a totalidade dos veículos	79
Quadro 10 - V_{85} em recta para veículos ligeiros.....	79
Quadro 11 – V_{85} em curva para a totalidade dos veículos.....	80
Quadro 12 – V_{85} em curva para veículos ligeiros	80
Quadro 13 – Relações de raios entre curvas sucessivas	86
Quadro 14 – Comparação de VE entre recta e curvas de raio mínimo.....	108
Quadro 15 – Valores máximos de raios com base na diferença de VE.....	109
Quadro 16 – Comparação de DT com $L_{mín}$ dos alinhamentos rectos	109
Quadro 17 – Comparação de DT com DD	110
Quadro 18 – Distâncias de desobstrução mínimas	124
Quadro 19 – Síntese da análise da qualidade de traçados rodoviários	149

1 – INTRODUÇÃO

A execução de um projecto de traçado de uma estrada é um exercício complexo e simultaneamente complicado. Complexo no sentido em que o projectista tem que lidar sistematicamente com situações não parametrizadas, que obrigam a soluções técnicas elaboradas e muitas vezes inovadoras, observando os mais variados factores, desde normativos a ambientais, não podendo, em qualquer fase do projecto, descuidar a futura segurança da circulação rodoviária. Complicado, pois num projecto desta especialidade, são múltiplas, e muitas vezes determinantes na escolha da solução a adoptar, as intervenções de outras áreas de estudo, intervindo o projectista de traçado como elemento de ligação e de coordenação, que ao receber as várias contribuições e condicionantes, as compatibiliza e as integra na solução final.

Quando um promotor decide iniciar os estudos de uma nova via de comunicação fornece ao projectista o denominado Programa Preliminar da obra, que é praticamente o seu caderno de encargos. Neste documento estão referenciados os propósitos e condicionantes de cumprimento obrigatório a que deve obedecer o projecto, como pontos inicial e final, pontos de passagem obrigatória, tipo e classificação da estrada, nível de serviço desejado e velocidade base pretendida.

A partir daqui o projectista do traçado da estrada, teoricamente, tem liberdade de actuação em termos da sua concepção, desde que atenda aos princípios e valores especificados na Norma de Traçado JAE P3/94, em vigor.

No entanto, como é lógico, o projectista tem que ter em atenção não só a referida Norma, mas também as características topográficas e geológico-geotécnicas do terreno, as características hidrológicas da região, as condicionantes de ocupação do solo, as características paisagísticas e de impacte ambiental e as condições técnico-económicas. Nestes estudos são infinitas as opções e soluções que se podem apresentar, cuja avaliação, muitas vezes, só em termos futuros e consoante a perspectiva de análise, permite verificar se as opções tomadas foram as melhores.

Por outro lado, dado o facto destes empreendimentos serem quase exclusivamente públicos, e como tal sujeitos às intervenções do poder político, muitas vezes o projectista é condicionado a optar por determinadas soluções, ficando com as suas opções limitadas e restando-lhe a responsabilidade de, dentro das balizagens que lhe são impostas, otimizar soluções que não tiveram origem em critérios estritamente técnicos.

Em comparação com os outros projectos de Engenharia Civil, um estudo de uma nova via de comunicação apresenta algumas particularidades. Nestes projectos, logo em fase de Estudo Prévio, têm que intervir várias áreas da Engenharia (algumas delas já com desenvolvimentos finais, caso dos estudos de impacte ambiental), assim como múltiplas e variadas entidades e serviços, competindo ao Engenheiro de Vias de Comunicação a sua coordenação.

A própria obra, em si, apresenta múltiplas especificidades. Normalmente é uma construção que se desenvolve em grande extensão, com uma utilização intensiva de equipamentos mecânicos, com grandes volumes de movimento de terras, e que terá uma intervenção directa na vivência não só das populações circundantes, como também nos potenciais futuros utilizadores, em que todos, como utentes de estradas análogas, se julgam com conhecimentos mínimos sobre o assunto, permitindo-se opinar sobre o que se deve fazer e como se deve fazer.

O projecto de vias de comunicação, torna-se assim, um estudo muito exposto em termos de opinião pública. Neste momento é um dos projectos em que há uma maior discussão pública, e onde os estudos de impacte ambiental apresentam um grande grau de desenvolvimento. Uma consequência directa disto é a duração de um estudo de uma estrada, que viu o seu prazo de realização substancialmente dilatado.

É neste enquadramento que o projectista de um traçado de uma estrada tem que desenvolver o seu trabalho. No entanto, e apesar de todos estes tipos de condicionantes, ainda existe um grande grau de decisão e de actuação do projectista na definição do traçado de uma estrada, o que tem de imediato como consequência, que vai ter que tomar múltiplas decisões em várias etapas do desenvolvimento do projecto. Desta tomada de decisões resultará um projecto mais ou menos homogéneo e consistente, mais ou menos seguro, mais ou menos integrado no meio ambiente e com maiores ou menores custos de

manutenção e conservação. Desta análise ressalta a importância que a vivência e experiência do projectista pode ter no desenvolvimento de estudos de traçado de estradas.

A própria Norma de Traçado (Norma P3/94) refere no capítulo de Controle dos Projectos que "O projecto de uma estrada depende fundamentalmente da experiência e da formação do engenheiro projectista. Enquanto que anteriormente se considerava sobretudo a economia da construção, actualmente o objectivo é conseguir uma solução integrada que satisfaça à dinâmica dos veículos e ao meio ambiente".

É neste contexto que se insere o presente trabalho. Dada a grande amplitude do tema em estudo, a análise vai ser concentrada sobre a geometria de traçado em estradas de duas vias e dois sentidos que se desenvolvem em meio rural, vulgarmente designadas por estradas rurais de duas vias, sendo que este tipo de estradas representa a grande percentagem da estrutura viária do nosso País e onde simultaneamente ocorrem os principais problemas de qualidade de circulação e de segurança rodoviária. A existência de uma metodologia, que além da verificação das normativas de traçado, permita a obtenção de uma melhor qualidade de projecto através de uma melhor homogeneidade do traçado e consistência da estrada, levará a uma menor dependência da experiência do projectista e originará uma melhor uniformização de análise de um projecto de traçado de uma estrada.

A fase mais importante de avaliação da qualidade do projecto para a concretização da homogeneidade do traçado é ao nível de estudo prévio, onde se pode realizar um controlo ao nível de uma macro-observação do traçado e onde se devem fazer as verificações da variação de parâmetros entre elementos geométricos sucessivos do traçado, ou mesmo entre trechos de estrada.

Será a este nível que se deverão fazer as primeiras verificações: de quebras de homogeneidade de traçado em geometria (alinhamento horizontal, alinhamento vertical, perfil transversal), de velocidades específicas e/ou de tráfego, de distâncias de visibilidade, de volumes de tráfego, etc. Será nesta fase, em que não se descerá à pormenorização individual de cada elemento que se deverá conjugar e cruzar os vários parâmetros em estudo, se possível em modelos tridimensionais.

A recolha destes indicadores irá tornar-se num elemento importante de decisão entre opções alternativas que estejam em estudo, principalmente ao nível de qual o melhor traçado em termos de segurança de circulação, para eleição da solução que segue para pormenorização em projecto de execução.

É nesta fase que a experiência do Engenheiro de traçado tem maior relevância, e é precisamente no sentido da diminuição desta dependência, que deverá ser dada uma maior importância à criação de modelos de controlo de indicadores de homogeneidade do traçado, sentimento que é orientador do presente trabalho.

O controlo da qualidade ao nível de projecto de execução irá incidir, quer sobre a micro-observação dos vários parâmetros definidores de cada elemento, se eles se encontram em consonância com a regulamentação em vigor e pormenorizados com o detalhe suficiente para a sua boa execução, quer sobre a análise da consistência da estrada. Só nesta fase de projecto em que se está na posse de todos os elementos definidores da estrada, assim como do seu meio envolvente, e tendo já sido efectuada a verificação da homogeneidade do traçado, se poderá efectuar o estudo da consistência da estrada, quer interna, quer externa.

De alguns anos para cá, Portugal encontra-se numa fase de grande evolução ao nível de construção de novas infra-estruturas rodoviárias, assim como, de um crescimento enorme do seu parque automóvel. Estes dois factores convergem para que neste momento se esteja numa situação de coabitação entre estradas com características geométricas deficientes (à luz dos conceitos actuais), com estradas com parâmetros geométricos modernos, associados a volumes de tráfego impensáveis há uns anos atrás. Este problema coloca-se não só entre estradas diferentes da rede viária, como entre troços de uma mesma estrada, denunciando execuções temporais do projecto com conceitos distintos e com situações económicas do país, também elas muito diferentes.

Este é também um ponto importante que se tem que ter em atenção na avaliação da qualidade de um projecto rodoviário, a sua homogeneidade e consistência tem que ser não só interna mas também externa. Tem que se analisar em que estrada se insere o projecto, a evolução temporal da rede viária, etc. Muita da sinistralidade no nosso país resulta da falta de consistência entre trechos de estrada sucessivos.

Deve ser tido em atenção que, apesar de fundamental e prioritário o desenvolvimento de metodologias que proporcionem um aumento da qualidade do projecto de traçado e consequentemente uma maior segurança na estrada, só por si, pode não ser o bastante para que se atinja o objectivo pretendido. Num projecto de uma estrada, como já referido, são múltiplas as interferências externas.

Vários são os exemplos de situações em que são apontadas a falta de qualidade do projecto e do seu controlo de qualidade, em que tal responsabilidade não pode ser imputada à equipa projectista. Esta, muitas vezes é confrontada com situações anómalas que obrigam a alterações profundas no projecto de traçado, em que a sua prioridade transfere-se da escolha das melhores opções técnicas de traçado, para a da minimização das consequências da execução de alterações (muitas vezes já com a obra em curso, o que limita drasticamente o seu leque de opções) provenientes de decisões que não controla.

São diversas as causas que podem estar na origem deste problema, das quais se podem destacar os três exemplos seguintes:

- contrariamente à generalidade dos projectos de Engenharia, em que um Promotor quando decide o avanço de um projecto já se encontra na posse do terreno onde o pretende implantar, no caso de uma estrada só no fim do projecto, nomeadamente após a execução da planta parcelar, é que o Dono de Obra se encontra na posse dos elementos que lhe permite iniciar a aquisição dos terrenos interessados. Muitas vezes, em casos de impossibilidade de acordo de compra, ou quando o interesse público não justifica a expropriação, a utilização de uma determinada parcela de terreno torna-se impossível, obrigando a alterações de traçado de última hora, com impactes negativos significativos na qualidade e consistência da estrada;
- a especificidade dos projectos de vias de comunicação, que advém do facto de serem estudos que se desenvolvem em grandes extensões sendo impensável fazer-se levantamentos contínuos de dados para as várias especialidades. Consequência disto é o grande número de incógnitas que perduram ainda durante a fase de construção. Por muito bem pormenorizada que seja uma base de dados para um projecto de uma estrada, nunca é, nem será, cem por cento exhaustiva, terá sempre um certo grau de

indefinição. São exemplos disto, alterações de traçado em projectos recentes, resultado de descobertas de achados arqueológicos durante a fase de construção da obra;

- decorrente do aumento dos prazos de estudos e de decisão de investimento, uma situação que ocorre frequentemente em áreas metropolitanas, são as alterações de ocupação e afectação dos terrenos onde se vai implantar a obra. Devido à dificuldade de diálogo e de cruzamento de informações, o licenciamento de novas construções em zonas que deveriam estar cativas, não é inédito, levando a alterações de traçado. Não raras vezes, em fases adiantadas de execução da obra, continuam a existir pressões de Organizações e Organismos para alterações de traçado pelas mais diversas razões.

No entanto, no objectivo de uma maior segurança rodoviária, é fundamental que uma estrada proporcione uma condução eficiente, estável e segura, por forma a que o condutor mantenha uma expectativa de condução realista, e que a estrada, no seu todo, influencie de forma positiva a atitude do condutor.

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, correspondendo o primeiro ao presente capítulo de introdução.

O segundo capítulo inicia-se com uma descrição sumária das diversas fases e valências que integram um projecto rodoviário, no sentido de uma clarificação metodológica do desenvolvimento deste tipo de projecto, dedicando-se todo o restante capítulo à apresentação e análise da Norma de Traçado JAE P3/94, actualmente em vigor. Esta leitura da Norma teve sempre como limite o tipo de estradas em estudo e o objectivo da avaliação de traçados. O capítulo termina com a apresentação de um quadro resumo com os principais valores indicados nas Normas de Traçado e as principais exigências e obrigações que devem ser respeitadas.

No terceiro capítulo é abordada a influência de certos parâmetros na qualidade do projecto e a sua importância na efectivação de uma estrada consistente. O capítulo inicia-se pela definição dos conceitos de homogeneidade do traçado e de consistência de uma estrada, sendo posteriormente realizada uma análise pormenorizada de alguns parâmetros dividindo-os em três sub-capítulos: velocidade, segurança e desempenho da estrada. Esta

pormenorização foi desenvolvida com a preocupação da realização de um levantamento dos estudos internacionais que ultimamente se realizaram sobre esta temática.

O quarto capítulo é dedicado à apresentação dos indicadores elegidos como representativos para a caracterização do controlo de qualidade de um projecto rodoviário e propostas metodologias para a sua definição. Neste sentido é dado especial relevo aos diagramas de velocidades e à construção de diagramas de distâncias de visibilidade. Na parte final do capítulo é apresentada a metodologia proposta para o controlo e avaliação da qualidade dos traçados rodoviários, apresentando-se uma listagem exhaustiva dos parâmetros a controlar e do tipo de características que devem verificar.

O último capítulo é referente às conclusões do trabalho, terminando-se com a indicação de algumas áreas abordadas neste trabalho ou com ligação directa a esta temática que necessitam de um aprofundamento e pormenorização, existindo todo o interesse que tenham desenvolvimentos futuros.

2 – NORMA DE TRAÇADO JAE P3/94

2.1 – Fases de um projecto rodoviário

Antes da abordagem da Norma de Traçado, no sentido da percepção do enquadramento das várias regras nela expostas, é de todo pertinente uma sumária abordagem sobre as fases e composição de um projecto deste tipo, sobre as diversas valências da engenharia que nele intervém e sobre o papel desempenhado pelo projectista do traçado.

No sentido de se balizar, quer em termos de terminologia, quer em termos da constituição de cada uma das fases de um projecto, considera-se que um projecto de uma estrada (França, 1991), à semelhança do que se passa nas restantes áreas de Engenharia Civil, divide-se em programa preliminar, programa base, estudo prévio, anteprojecto ou projecto base e projecto de execução.

O programa preliminar, cuja execução compete ao promotor da obra, é praticamente o caderno de encargos do projectista e onde estarão indicadas as características pretendidas para o estudo e as condicionantes a que deverá atender, tais como:

- características gerais do empreendimento;
- pontos inicial e final do traçado, assim como pontos de passagem obrigatória;
- velocidade base;
- nível de serviço que se pretende.

Só em estudos de grande relevância é habitual o projectista apresentar o programa base, sendo essencialmente um primeiro estudo rodoviário, em cartas de escala reduzida onde são indicadas possíveis alternativas de traçado e uma primeira, e pouco precisa, estimativa de custos. Esta fase é na maior parte das vezes anulada, ou então substituída por relatórios de progressão dos trabalhos.

A fase de estudo prévio, torna-se assim, a primeira etapa importante do desenvolvimento dos estudos, sendo nesta fase que se tomam as decisões básicas acerca do traçado e que posteriormente serão pormenorizadas no projecto de execução.

O estudo prévio, como fase de levantamento das situações existentes e de arranque dos estudos, é condicionado por vários factores:

- observância do clausulado das Normas de Projecto em vigor;
- características topográficas do terreno;
- características hidrológicas da região;
- características geológico-geotécnicas dos terrenos;
- características e condicionantes da ocupação do solo;
- características paisagísticas e de impacte ambiental, devendo-se referir que não só o impacte estético é importante, mas também se tem de ter em conta o impacte sobre os recursos naturais, o impacte sobre as infra-estruturas de apoio às actividades económicas, o impacte sobre a vida privada e social de famílias e comunidades, o impacte sobre a cobertura vegetal e património botânico e faunístico, etc;
- condicionantes técnico-económicos, assim como a análise económico-social do empreendimento.

O objectivo do estudo prévio não é o de fornecer elementos definitivos para a execução da obra, mas o de traçar uma ou várias soluções alternativas para o traçado, devidamente fundamentadas em termos técnicos e já com intervenção das diversas valências integrantes do estudo, com as respectivas estimativas orçamentais, de forma a que o dono de obra possa optar, de forma definitiva e fundamentada por um traçado.

É uma etapa em que ao Engenheiro de Vias de Comunicação não é exigida uma grande pormenorização, mas sim um trabalho alargado de coordenação de múltiplas áreas de trabalho.

É nesta fase que se desenvolvem, de forma definitiva, os estudos de tráfego que permitirão a fixação do perfil transversal tipo a adoptar. Estes estudos implicam a realização de inquéritos de origem-destino e contagens de veículos nas estradas existentes na zona de influência da futura estrada, assim como, o estudo sobre os dados disponíveis sobre a ocupação do solo e as perspectivas e tendências de crescimento demográfico e económico dessa zona.

Com o início do estudo prévio dá-se o arranque do reconhecimento topográfico do terreno, quer em termos de trabalho de gabinete, com recolha de cartografias existentes e estudos

de traçados possíveis, quer em termos de trabalho de campo para contacto com a zona e percepção da sua topografia e validação das hipóteses idealizadas em gabinete. É com base nestes esboços que se delimita o levantamento aerofotogramétrico a realizar.

Após a recepção deste levantamento são estudadas diversas soluções em planta e para cada uma delas várias soluções em perfil, sendo escolhidas as que aparentemente, em termos técnico-económicos, se mostrem mais atraentes.

Nesta altura estão em condições de iniciar, de uma forma efectiva e condicionante, os estudos:

- geológico-geotécnicos;
- paisagísticos, ambientais e de impacte regional;
- hidrológicos;
- estruturais, para definição aproximada das obras de arte;
- económicos.

Os estudos geológico-geotécnicos, iniciam-se pelo reconhecimento geológico-geotécnico da zona em apreço, através de recolha e análise de elementos existentes da região (cartas de solos, carta geológica, dados sismológicos, relatórios de prospecção existentes da região, fotografia aérea, etc.) e através do reconhecimento de superfície. Posteriormente realizam-se ensaios de prospecção geofísica e alguns ensaios de prospecção mecânica. Este trabalho permite a realização de plantas geológicas e perfis geotécnicos dos traçados alternativos em estudo.

Os estudos paisagísticos, ambientais e de impacto regional, são realizados de uma forma definitiva nesta fase de estudo prévio. Estes estudos, particularmente no caso dos projectos de estradas, cada vez têm maior peso na escolha da solução final, resultando a importância dos Engenheiros de Vias poderem contar com eles o mais cedo possível. São estudos muitas vezes morosos, polémicos, com intervenção das forças vivas da região e normalmente são contrários às melhores soluções técnico-económicas, em que muitas vezes, não inviabilizando uma solução, obrigam a alterações ao traçado previsto inicialmente.

Passados os estudos geológico-geotécnicos e de carácter ambiental, o desenvolvimento dos estudos de traçado entram numa fase de melhor definição de soluções possíveis.

É nesta altura que se iniciam os estudos hidrológicos com a definição e pré-dimensionamento da drenagem transversal, que pode influir no estudo da rasante, assim como, também se iniciam os estudos da especialidade de estruturas para definição de viadutos, pontes, pontões, ainda que de uma forma sumária, de modo a permitir a determinação de cotas e de estimativas orçamentais destas obras de arte.

Finalmente são efectuados os cálculos das estimativas das quantidades de materiais e trabalho e as estimativas de custos para uma solução base encontrada e eventuais alternativas.

Dado o detalhe e desenvolvimento, normalmente atribuído ao estudo prévio, o anteprojecto é vulgarmente dispensado. Caso seja necessária a sua realização, a sua finalidade é a de pormenorização e desenvolvimento de algumas peças do estudo prévio, de modo a que se possa passar à fase de projecto de execução com uma solução mais precisa e fundamentada.

A fase de projecto de execução inicia-se com o traçado já aproximadamente definido e consiste no desenvolvimento dos estudos, com a definição analítica do eixo da estrada, e com a pormenorização necessária à execução da obra.

Nesta fase é realizado um levantamento topográfico aerofotogramétrico, da faixa entretanto definida, à escala própria para projecto. Está-se na fase da fixação do traçado em planta e do estudo da directriz de projecto. Após a sua eleição é realizado o estudo geológico-geotécnico final, que pode passar pela pormenorização e complemento do estudo desenvolvido em estudo prévio, com novos ensaios de prospecção geofísica e de prospecção mecânica, nomeadamente nos locais onde se irão realizar as fundações das obras de arte.

Com este complemento de estudos pode-se afinar a directriz, seleccionar os materiais necessários para os aterros, fixar a inclinação dos taludes, escolher o tipo de drenagem

nomeadamente a profunda através da detecção da posição do nível freático, dimensionar o pavimento, etc.

Nos projectos de Vias de Comunicação é normalmente da responsabilidade do projectista o estudo, cálculo e implantação da poligonal de apoio, que permitirá a piquetagem do eixo da estrada através do denominado programa de implantação.

Com a directriz implantada e materializada no terreno está-se em condições de realizar o nivelamento longitudinal e transversal final que irá permitir realizar o perfil longitudinal e perfis transversais de projecto. Finalmente é realizada a planta parcelar.

Com estes elementos de projecto concretizados estão estabelecidas as condições para a realização do projecto de execução das áreas de Drenagem, dos Nós, Cruzamentos e Entroncamentos, Sinalização e Segurança, Pavimentação etc. que integram o projecto rodoviário. Os projectos de execução das Obras de Arte, tais como pontes, pontões, viadutos e muros são apresentados de forma individual.

Deste resumo sobre as fases de um projecto de uma estrada, ressalta que existem duas etapas principais e perfeitamente distintas em que se deve efectuar uma avaliação da qualidade: quando da execução do estudo prévio e quando da execução do projecto de execução.

2.2 – Objectivo e campo de aplicação da Norma de Traçado

A actual Norma de Traçado JAE P3/94 apresenta um numeroso conjunto de regras e recomendações, que têm como objectivo a execução de um traçado que permita uma solução integrada que satisfaça à dinâmica dos veículos e ao meio ambiente, e em que os conceitos de homogeneidade e consistência estejam presentes.

Será com base neste propósito que se desenvolverá nos capítulos seguintes, de uma forma sintética, o conjunto de regras e recomendações enunciados na Norma para esta área, e que representam o estado actual das exigências que são feitas no nosso País.

A Norma JAE P3/94 aplica-se a todas as estradas classificadas como nacionais, que na sua globalidade constituem a Rede Nacional. A actual divisão desta Rede faz-se em duas categorias:

- Rede Fundamental constituída pelos Itinerários Principais (IP's);
- Rede Complementar constituída pelos Itinerários Complementares (IC's) e restantes estradas nacionais (OE's).

Vindo de encontro a uma das finalidades deste trabalho, a própria Norma explicita que tem por objectivo a criação de uma uniformidade de traçados para o mesmo tipo de estrada e de tráfego, permitindo que os utentes distingam de forma clara a categoria de estrada onde estão a circular, adequem a sua condução a esse tipo de via e actuem convenientemente e atempadamente perante qualquer anormalidade com que sejam confrontados, obtendo-se assim uma estrada segura.

2.3 – Definições e conceitos

2.3.1 – Velocidade

A actual Norma de Traçado elege a velocidade como o principal e fundamental parâmetro para a escolha e controlo dos elementos geométricos do traçado de uma estrada, sendo nela que se reflectem de uma maneira racional os critérios de economia, segurança e comodidade.

No sentido de evoluir para a obtenção de traçados mais homogéneos e estradas mais consistentes e de forma a se poder fazer esse controlo, são apresentados três conceitos de velocidade que vão permitir a abordagem do estudo da geometria de traçado de uma maneira dinâmica, que reflectirá de uma forma mais real a utilização da via pelo condutor: a velocidade base, a velocidade específica e a velocidade de tráfego.

As definições atribuídas a cada uma destas velocidades, segundo a Norma, são as seguintes:

- velocidade base (VB) é a maior velocidade que deverá ser garantida ao longo do traçado;
- velocidade específica (VE) é a velocidade máxima que pode ser conseguida com segurança num elemento do traçado, considerado isoladamente;
- velocidade de tráfego (VT) é a velocidade que é excedida numa estrada ou troço de estrada por somente 15% dos veículos, considerada como uma velocidade crítica em termos de segurança rodoviária.

Como comentário a estas definições poder-se-á dizer que:

- a velocidade base apresenta uma definição idêntica ao conceito da velocidade de projecto da Norma P3/78 anterior, apresentando-se como uma velocidade definida por critérios de segurança, tendo como objectivo o estabelecimento de condições mínimas de circulação com segurança em todo o traçado;
- a velocidade específica apresenta-se igualmente como sendo determinada por critérios de segurança, mas para cada elemento geométrico individualmente, permitindo assim a verificação, de acordo com o critério de segurança definido, o estudo da variação de velocidades entre elementos geométricos do traçado;
- decorrente destas duas definições, poder-se-á dizer de uma forma simplista que a velocidade base de um troço de estrada, corresponde à menor velocidade específica dos seus elementos geométricos;
- a velocidade de tráfego corresponde a uma velocidade operacional, visto na sua definição ter em conta a distribuição real das velocidades numa determinada secção transversal da estrada, apesar de associar ao 85 percentil da curva de distribuição cumulativa de velocidades um carácter de limite de segurança;

Estas três definições de velocidade irão permitir que se possa avaliar a homogeneidade do traçado e a consistência da estrada, quer entre troços de estrada sucessivos pela variação das velocidades de tráfego, quer entre elementos geométricos sucessivos pela análise da diferença das suas velocidades específicas, quer pela diferença entre a velocidade específica de cada elemento geométrico para a velocidade de tráfego desse troço.

Apesar da definição apresentada para a velocidade de tráfego, a Norma indexa-a à velocidade base, correspondendo estas velocidades a troços de estrada, com extensões

que podem ser significativas, ficando a velocidade específica como a única velocidade associada a elementos singulares do traçado.

Na filosofia adoptada em Portugal para o estudo e concepção de uma estrada, a velocidade base é a velocidade que é estabelecida em primeiro lugar e por meio legislativo. Tendo em consideração a hierarquia da estrada na rede nacional, o relevo topográfico onde ela se insere, os factores de carácter ambiental e económicos, os objectivos do tráfego e o nível de serviço, à partida, é estabelecido que uma estrada terá que ser projectada para uma determinada velocidade base.

A velocidade base permitirá definir a maioria das características geométricas do projecto e a sua coordenação. No sentido de uniformizar e homogeneizar traçados, a Norma refere que no percurso de uma estrada a velocidade base deve ser, prioritariamente, a mesma nos seus vários troços, mantendo-se assim as mesmas exigências geométricas ao longo do traçado. Quando existir a necessidade de alteração da velocidade base entre troços de estrada é imposto que esta deverá ser feita de forma gradual, limitando-se a variação da velocidade base, entre secções sucessivas de estrada, a 10km/h.

Fica no entanto a dúvida, que a Norma não especifica, da definição do que se pode considerar um trecho ou secção de estrada e qual a extensão mínima que deve ter.

A velocidade específica como parâmetro correspondente a um determinado elemento singular do traçado, possibilita que se possa realizar uma análise da variação de velocidade entre elementos consecutivos da via, conseguindo-se assim, uma verificação da dinâmica da estrada através das variações da velocidade específica ao longo do traçado. Este estudo é fundamental em termos de homogeneização do traçado, pelo que a actual Norma preconiza a construção e análise do diagrama das velocidades específicas, referindo-o como um dos elementos principais do controlo de projectos, na vertente da qualidade de circulação.

O diagrama de velocidades específicas pretende representar a variação gráfica desta velocidade ao longo do traçado, conseguindo-se através da sua visualização uma rápida verificação da existência de diferenças de velocidade perigosas, entre elementos

geométricos sucessivos, e consequentemente ter-se um parâmetro de avaliação da homogeneidade do traçado.

A Norma regulamenta a sua construção, indicando valores para a velocidade específica, quer para elementos curvos, função do tipo de estrada (2 vias ou 2x2 vias) e dos raios, quer para os alinhamentos rectos e curvas de transição, igualando nestes a velocidade específica à velocidade de tráfego do respectivo trecho de estrada.

Para a construção deste diagrama considera que:

- o condutor escolhe a velocidade de acordo com o raio da curva circular;
- o condutor ao mudar de elemento de traçado imediatamente adapta a velocidade a esse novo elemento;
- o início e o fim destas mudanças coincidem com os inícios e fins das curvas circulares;
- para o cálculo dos comprimentos das transições de velocidade específica a desaceleração e aceleração do veículo é constante e igual a 0.8m/s^2 , que corresponde, no caso de desaceleração, a uma não utilização de travões.

A Norma estabelece que a velocidade específica de dois elementos consecutivos do traçado não deve variar mais do que 20km/h, para velocidades específicas superiores a 70km/h, e 10km/h nos restantes casos.

Da leitura deste clausulado fica-se na dúvida do que se considera “elementos sucessivos”, se quer dizer “elementos curvos sucessivos”, ou se refere efectivamente a dois elementos sucessivos quaisquer, como um alinhamento recto seguido de uma curva.

Esta questão é levantada pois a Norma também impõe que, por questões de segurança de circulação, a diferença entre a velocidade específica de uma curva relativamente à velocidade específica (velocidade de tráfego) do alinhamento recto que a precede, tem que ser menor que 30km/h. Questão que estaria abrangida, desde logo, pela regra entre elementos sucessivos caso esta se aplicasse a estes casos.

Este assunto merece uma pequena reflexão, dado a Norma JAE P3/94 estabelecer raios mínimos, função da velocidade base. No Quadro 1 é feita uma análise comparativa entre os raios resultantes da limitação da variação entre as velocidade específica de uma curva

relativamente ao alinhamento recto que a precede (30km/h), e da limitação de velocidade específica entre elementos sucessivos, caso se aplique às sequências alinhamentos rectos / curvas (20km/h).

Quadro 1 - Comparação entre RN e RA com os raios resultantes das limitações de variação da VE

VB (km/h)	VT (km/h)	VE ₁ =VT-30 (km/h)	R(VE ₁) (m)	VE ₂ =VT-20 (km/h)	R (VE ₂) (m)	RN (m)	RA (m)
60	80	50	<120	60	120	250	130
80	100	70	180	80	240	450	240
100	120	90	320	100	420	700	420
120	130	100	420	110	530	1000	700
140	140	110	530	120	620	1400	1200

R(VE_i) – raio mínimo que permite a VE_i

Nesta análise, que foi feita para as velocidades base adoptadas na Rede Nacional, verifica-se que ao respeitar-se os raio mínimos normais (RN), ou mesmo os raios mínimos absolutos (RA), relativos a cada uma das velocidades base, está-se automaticamente a respeitar o normativo imposto para as variações das velocidades específicas em qualquer dos casos.

Desde que se cumpra a Norma de Traçado em termos de raios mínimos, o problema da homogeneidade de traçado, em termos de variações de velocidade específica, está automaticamente respeitado.

Com a introdução do conceito de velocidade de tráfego, a Norma pretende que se faça a utilização de uma velocidade mais representativa das condições reais de circulação, sendo portanto aquela que os condutores adoptarão tendo em conta o traçado e o seu meio envolvente, podendo ser assim diferente da velocidade base.

Apesar desta definição os valores da velocidade de tráfego são apresentados na Norma de Traçado como referenciados à velocidade base, o que em parte contradiz a sua definição.

O conceito de velocidade de tráfego, ao representar de uma forma mais real e dinâmica a velocidade de circulação, é o elemento considerado na definição de alguns parâmetros de projecto, como as distâncias de visibilidade em IP's e IC's, aparecendo assim, como parâmetro definidor complementar à velocidade base.

Em IP's e IC's a velocidade base é considerada na definição do raio mínimo em planta, trainel máximo e perfil transversal tipo, e a velocidade de tráfego é utilizada na definição das distâncias de visibilidade e nos raios mínimos das concordâncias verticais (cuja definição em parte também tem que ver com distâncias de visibilidade). No caso das OE's a velocidade base é definidora e determina a totalidade das características geométricas.

Como resultado das três definições de velocidade e do seu campo de aplicação, verifica-se que a Norma admite que, pelo menos no elemento mais desfavorável de um troço de estrada, em que possivelmente a velocidade base será igual à velocidade específica desse elemento, sendo a velocidade de tráfego superior àquelas, não seja respeitado o 85 percentil da distribuição cumulativa de velocidades, ou caso este se verifique não sejam respeitados os critérios mínimos de segurança.

2.3.2 – Visibilidade

A visibilidade numa estrada, entendida como o comprimento de estrada visível pelo condutor, é um dos parâmetros fundamentais em termos de segurança de circulação. No mínimo há que assegurar que em qualquer situação perante a existência de um qualquer impedimento ou obstáculo na estrada seja possível ao condutor reagir e controlar a velocidade do veículo.

A distância de visibilidade é um dos parâmetros que mais influenciam a consistência de uma estrada, nomeadamente em termos de concentração e carga de condução, pois quanto maior for a visibilidade disponível, mais atempadamente o condutor se apercebe das características da estrada e de alguma anomalia existente, não só obstáculos, mas

(exemplo muito frequente em Portugal) também deficiências do próprio pavimento, e pode reagir de uma forma mais calma, podendo executar as tarefas de condução necessárias num espaço de tempo mais dilatado.

Em termos de distâncias de visibilidade a Norma Portuguesa estabelece três tipos de distâncias: de paragem (DP), de decisão (DD) e de ultrapassagem (DU).

A distância de visibilidade de paragem é definida, como a distância necessária para um veículo que circula a uma determinada velocidade poder parar, e é por questões de segurança, em qualquer estrada tenha ela uma ou duas faixas de rodagem, a distância mínima que tem que ser assegurada em todo o seu traçado. Esta distância é função da inclinação dos traneis, aumentando nos declives.

A distância de visibilidade de paragem apesar de fundamental na definição das características geométricas do traçado só por si não assegura uma condução cómoda e segura. Em situações em que o condutor tem que tomar decisões complexas, como a de reagir perante intersecções, nós de ligação, diminuição de vias, zonas de entrecruzamento, etc. a distância de paragem não chega para o tempo de reacção, decisão e adaptação do condutor às novas circunstâncias.

A esta distância de visibilidade necessária para estas situações denomina-se distância de visibilidade de decisão, função da velocidade de tráfego e dada pela expressão empírica $DD = 3.3VT$, francamente superior à distância de paragem e que corresponde a considerar-se um tempo de percepção/reacção/adaptação às novas circunstâncias de aproximadamente 12 segundos.

Esta distância deve ser considerada nas zonas já referidas de intersecções, nós de ligação, diminuição de vias, entrecruzamento, etc. assim como em todos os locais onde as expectativas do condutor são modificadas ou onde se pense que o condutor terá dúvidas na percepção ou interpretação de qualquer indicação ou percepção da geometria da estrada.

A distância de visibilidade de ultrapassagem é a distância mínima que um condutor precisa para realizar uma ultrapassagem em segurança e com comodidade, não obrigando a que

um veículo que se desloque em sentido contrário diminua de velocidade. Este problema só se coloca em estradas de duas vias e dois sentidos.

A distância de ultrapassagem depende da velocidade de circulação do veículo ultrapassante, da velocidade do veículo ultrapassado, da velocidade do veículo que se desloca em sentido contrário, do tipo de veículos envolvidos (pesados ou ligeiros), do tempo de reacção do condutor e das características geométricas da estrada.

Segundo a Norma, 95% das manobras de ultrapassagem realizam-se entre 4 e 15 segundos. No entanto, e em função da velocidade de tráfego, atribui à distância de ultrapassagem um valor de $7 \times VT$, referindo que garante a ultrapassagem com razoável segurança e comodidade a 85% dos condutores, se se exceptuar as horas de ponta.

A expressão anterior corresponde a considerar-se um tempo de circulação à velocidade de tráfego de aproximadamente 25 segundos, correspondente ao tempo da manobra de ultrapassagem mais o tempo de aproximação do veículo que circula em sentido contrário na via oposta.

Fazendo-se um breve balanço da evolução destes conceitos de distâncias de visibilidade, em confrontação com a anterior Norma de Traçado JAE P3/78 há que realçar desde logo, a introdução da nova definição de distância de visibilidade de decisão.

Relativamente à distância de visibilidade de paragem a definição é a mesma e os critérios de determinação dos valores são os mesmos. A única alteração foi a clarificação que no seu cálculo deve de ser utilizada a velocidade de tráfego.

Na distância de ultrapassagem, além da utilização para a sua definição do novo conceito de velocidade de tráfego, existem alterações significativas nos valores desta distância. A Norma P3/78 decompunha a distância de visibilidade de ultrapassagem em quatro parcelas, em que respeitando-se as regras por ela enunciadas, chegava-se a valores para a distância de visibilidade de ultrapassagem função da velocidade de projecto (V_p) entre $DU_{75}=5.3V_p+30$ e $DU_{75}=6.2V_p+75$. Posteriormente a Norma JAE P3/78 apresentava um quadro com a distância de ultrapassagem em função da velocidade de projecto, em que esta correspondia a $5 \times V_p$, valores inferiores aos entretanto calculados.

Na nova Norma JAE P3/94 ao atribuir à DU o valor de $7 \times VT$ está a utilizar valores muitos superiores aos da anterior Norma, pois além de passar o coeficiente multiplicativo de 5 para 7 ainda utiliza a velocidade de tráfego que é superior à velocidade de projecto anteriormente definida e que se pode associar à actual velocidade base.

A análise das zonas do traçado onde existem condições de ultrapassagem é essencial na apreciação da consistência de um projecto de uma estrada de duas vias. Esta análise é um estudo em 3 dimensões, pois requer uma verificação conjunta, planta, perfil longitudinal e perfil transversal. Além disto, este estudo deverá ser efectuado de maneira individualizada para os dois sentidos de circulação.

A Norma actual refere que a distância de ultrapassagem deverá ser assegurada em 40% do traçado, devendo os locais com esta visibilidade aparecerem ao longo do traçado de uma forma regular com intervalos inferiores a 1.5km, e no máximo de 3.0km.

Apesar das indicações da Norma para a existência de zonas de ultrapassagem, deve-se ter em atenção que a possibilidade de ultrapassagem, em estradas de duas vias, não depende exclusivamente da existência de visibilidade de ultrapassagem, mas também do volume de tráfego em sentido contrário.

No entanto a Norma, por razões de custo de construção não especifica valores mínimos para a percentagem de oportunidades reais de ultrapassagem. Por razões de segurança a existência de valores mínimos deveria existir, dado que à partida se pode estar a assumir que no ano horizonte a possibilidade de ultrapassagem possa ser praticamente nula, com os inerentes custos de segurança.

Como medidas a adoptar para a obtenção de um traçado com uma maior percentagem de distâncias de visibilidade de ultrapassagem são indicadas a utilização de alinhamentos rectos mais extensos, vias adicionais alternadas em zonas planas ou onduladas, vias adicionais em rampas e declives de grande extensão e inclinação, e duplicação da faixa de rodagem em certas zonas.

As vias adicionais devem ter uma extensão entre 1000m e 1500m, devem distar entre si, no mesmo sentido, em média 10km (5 a 15km), e não devem coincidir com intersecções, nós de ligação, curvas de pequena raio ou declives.

Quando se estuda ou analisa um projecto em termos de segurança, um outro conceito que deve estar presente é o de distância de visibilidade segura, que se pode definir como uma distância de visibilidade do eixo da via de circulação que permita ao condutor manter uma trajectória correcta, sem mudanças bruscas de direcção e consequentemente uma condução segura.

Num traçado em que se pretenda garantir esta distância de visibilidade, o principal problema que se coloca, em termos de traçado em planta, são os alinhamentos curvos.

Este conceito de distância de visibilidade segura é função do tipo de estrada. Numa estrada de duas faixas de rodagem a distância segura é a distância de visibilidade de paragem. Numa estrada de duas vias, dois casos podem acontecer (Couto, 1996):

- se for permitido ultrapassar, a distância segura é a distância de visibilidade de ultrapassagem;
- se a ultrapassagem for proibida, a distância segura deve ser o dobro da distância de visibilidade de paragem, como segurança adicional para que, no caso de um veículo que tenha indevidamente ocupado a via contrária, haja espaço para os dois veículos se imobilizarem.

Tem grande influência na distância de visibilidade em curva as restrições laterais de visibilidade, pelo que na Norma JAE P3/94 são indicadas distâncias mínimas de obstrução lateral em curvas circulares, determinadas através da expressão:

$$Hc = \frac{DP^2}{8R} \quad (1)$$

em que:

DP - distância de visibilidade de paragem (m);

R - o raio da curva (m);

Hc - distância mínima de obstrução (m), medida entre o eixo da via interior e a obstrução a 0.60 metros de altura a partir da cota do eixo da via.

Pelo referido anteriormente, a distância a considerar nesta expressão não deveria ser unicamente DP, mas DP, DU, ou $2 \times DP$, função do tipo de estrada e da possibilidade de ultrapassagem.

A Norma ainda refere que, caso a obstrução lateral exista e não possa ser retirada, o raio mínimo da curva fica condicionado por aquela distância, devendo ser determinado em função da distância de visibilidade de paragem.

O critério óptico, como é referido em 2.4.1.2, pode ser utilizado como critério de determinação do raio mínimo de uma curva, verificando-se que os raios assim determinados são superiores aos raios mínimos normais resultantes dos critérios de segurança.

A própria Norma refere que, mesmo sabendo-se que a topografia condiciona decisivamente a velocidade e que esta, por sua vez, controla a distância de visibilidade, deve-se, no entanto, considerar a visibilidade em conjunto com a topografia, pois muitas vezes, é o estudo simultâneo destes dois parâmetros que condiciona o raio de curvatura e obriga a raios maiores que os determinados pelo critério de velocidade.

2.4. – Geometria

No final deste capítulo é apresentado um quadro resumo (Quadro 6), com os principais valores indicados nas Normas de Traçado, assim como as principais exigências e obrigações que devem ser respeitadas. Este quadro, que se pretende o mais exaustivo possível, foi realizado com a preocupação de poder ser inserido numa única folha A4, para que, de uma maneira fácil e funcional, possa ser utilizado como um útil auxiliar de projecto.

2.4.1. – Traçado em planta

Segundo a Norma JAE P3/94, actualmente é necessário garantir três condições para que o traçado em planta se possa considerar seguro e cómodo: homogeneidade, compatibilidade entre velocidade base e velocidade de tráfego, e a existência de distâncias de visibilidade função da velocidade de tráfego.

A Norma também refere, e cita-se, “a consistência do traçado deve estar de acordo com a expectativa dos condutores, que é o processo pelo qual estes, em função de um estímulo provocado pelas condições de circulação, reagem de acordo com a experiência obtida anteriormente perante estímulos idênticos.”

Assim são indicados vários cuidados a ter no estudo de um traçado em planta, que influenciam a comodidade e a segurança:

- em terreno plano deve-se estudar a geometrização de um traçado que evite a monotonia de condução;
- devem existir cuidados com a travessia de linhas de água e com a drenagem;
- deve-se colocar, sempre que possível, o traçado em encostas expostas ao sol, para se evitar a formação de gelo;
- deve-se evitar a orientação de eixos na direcção nascente / poente, por forma a evitar encadeamentos provocados pelo Sol;
- no caso de existirem ventos dominantes a orientação de traçado ideal é a dos ventos;
- no caso de traçados em terrenos difíceis, deve-se localizar o traçado em zonas estáveis.

Os elementos em planta de um traçado são os alinhamentos rectos, as curvas circulares e as curvas de transição.

2.4.1.1 – Alinhamentos rectos

Os alinhamentos rectos sendo os principais elementos que permitem a existência de distâncias de visibilidade de ultrapassagem, apresentam também alguns inconvenientes, quer em termos de segurança, com o aumento da duração do encadeamento nocturno, aumento da monotonia de condução, e aumento da dificuldade de avaliação de velocidades e distâncias, quer em termos económicos, dado serem elementos que normalmente são de difícil integração na topografia e cuja execução obriga, invariavelmente, a grandes movimentos de terras.

Assim, no sentido de conciliação desta dicotomia, a Norma indica que:

- os alinhamentos rectos extensos não devem ser sobrepostos a traineis longitudinais de inclinação constante para se minimizar o problema do encadeamento e da monotonia de condução, devendo ter nestas circunstâncias o comprimento máximo de $20 \times VB$;
- por critério de conforto óptico, nas estradas de duas vias, a extensão mínima deve ser de $6 \times VB$.

De referir que esta extensão mínima é inferior à distância mínima de ultrapassagem que é de $7 \times VT$. No Quadro 6 estão representadas as duas gamas de valores.

2.4.1.2 – Curvas circulares

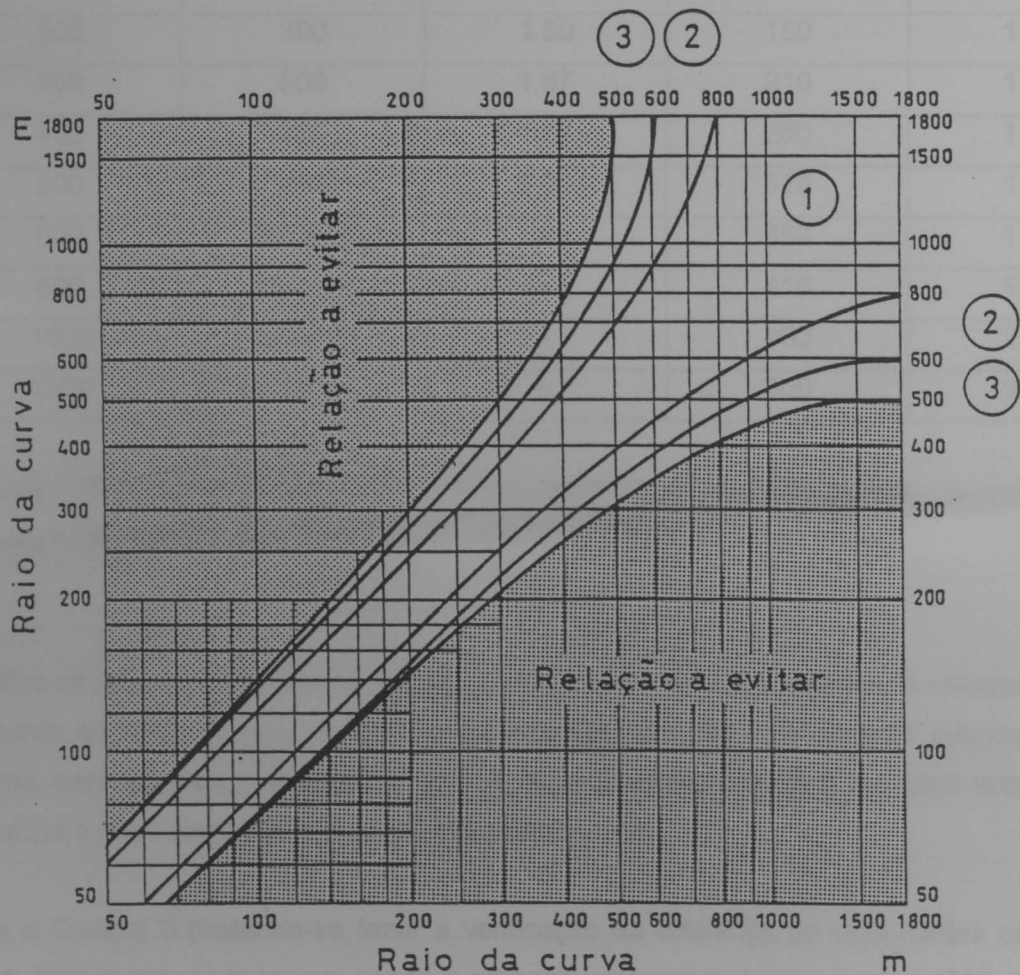
As curvas circulares, na geometrização de um traçado, apresentam-se como os elementos que permitem a adaptação da estrada à topografia do terreno e a harmonização e equilíbrio entre ambos. No entanto, os seus raios devem ter valores mínimos de segurança que permitam a visibilidade da estrada e a percepção do traçado pelo condutor.

Por critérios de segurança, a Norma Portuguesa estabelece para as curvas circulares dois tipos de raios mínimos, os absolutos (RA) e os normais (RN), devendo os primeiros serem utilizados excepcionalmente, pois originam acelerações centrífugas elevadas, encontrando-se nos limites inferiores das condições de segurança. No Quadro 6 estão indicados os dois tipos de raios para as velocidades mais comunmente utilizadas em projecto.

A Norma refere, invocando ainda questões económicas e de protecção do ambiente, um elemento que é fundamental em termos de homogeneidade de traçado e que contribui de forma relevante para a sua consistência, a necessidade de existir uma correlação equilibrada entre os raios de curvas sucessivas, apresentando para a sua definição o gráfico da Figura 1.

Em termos de obtenção de homogeneidade de traçado, uma correlação deste tipo deverá existir não só entre curvas sucessivas, mas entre todas as curvas de um troço de estrada, função das velocidade base para que foi estudada.

No Quadro 2 apresenta-se, para alguns valores de raios de curvas em planta, a balizagem preconizada pelo gráfico da Figura 1 para os raios das curvas seguintes, e a relação entre eles, até ao limite considerado no gráfico como relação aceitável.



- ① - Relação muito boa
- ② - Relação boa
- ③ - Relação aceitável

Fonte: Fig. 2 da Norma de Traçado JAE P3/94

Figura 1- Combinação de raios desejáveis entre curvas circulares sucessivas

Quadro 2 - Análise dos raios entre curvas sucessivas

Raio (m)	$R_{\text{máxcseg}}$ (m)	$R_{\text{máxcseg}} / \text{Raio}$	$R_{\text{míncseg}}$ (m)	$\text{Raio} / R_{\text{míncseg}}$
100	150	1.50	75	1.33
200	300	1.50	150	1.33
300	500	1.67	210	1.43
400	750	1.87	260	1.54
500	1500	3.00	310	1.61
600	S/limite	-	350	1.71
800	S/limite	-	410	1.95
1000	S/limite	-	460	2.17
1500	S/limite	-	500	3.00

$R_{\text{máxcseg}}$ = raio máximo da curva seguinte resultante da utilização do gráfico

$R_{\text{míncseg}}$ = raio mínimo da curva seguinte resultante da utilização do gráfico

Verifica-se que na actual Norma a razão entre raios de curvas sucessivas é crescente com o aumento do valor do raio inicial, iniciando-se esta relação, com valores inferiores ao da Norma anterior (2.50). Verifica-se que a situação de decréscimo de raios entre curvas seguidas é mais condicionante que a situação inversa.

Com o Quadro 3 pretende-se fazer a verificação da diferença de velocidades específicas entre duas curvas sucessivas, sendo a primeira uma curva de raio normal (RN), função da velocidade base, e a curva seguinte de raio resultante da relação, designada por aceitável, resultante das relações dadas pelo gráfico da Figura 1.

Decorrente desta análise verifica-se que a utilização desse gráfico origina um diferencial de VE entre curvas sucessivas que respeita a balizagem da variação de 20 km/h imposta para valores de VE superiores a 70 km/h, excepção feita para o caso de uma curva de raio 600 metros em que se admite que o raio da curva seguinte possa descer aos 350 metros originando um diferencial de velocidades específicas de 25 km/h. Independente desta verificação deve-se, também atender à VT da estrada em que se insere a sequência de

curvas, que corresponde à VE em recta, podendo aqui existir problemas de homogeneidade da VE.

Quadro 3 - Verificação da variação de VE entre curvas sucessivas

Raio (m)	R _{máxcseg} (m)	R _{míncseg} (m)	VE _R (1)	VE _{Rmáxcseg} (2)	VE _{Rmíncseg} (3)	(1) – (2)	(1) – (3)
200	300	150	75	90	70	-15	5
300	500	210	90	110	75	-20	15
400	750	260	100	120	85	-20	15
500	1500	310	110	120	90	-10	20
600	-	350	120	-	95	-	25
800	-	410	120	-	100	-	20
1000	-	460	120	-	105	-	15
1500	-	500	120	-	110	-	10

VE_R = velocidade específica correspondente ao raio inicial (km/h)

VE_{Rmáxcseg} = velocidade específica correspondente ao R_{máxcseg} apresentados (km/h)

VE_{Rmíncseg} = velocidade específica correspondente ao R_{míncseg} apresentados (km/h)

Evoluindo sempre com o objectivo da homogeneização do traçado a Norma também condiciona o valor dos raios das curvas circulares à extensão dos alinhamentos rectos que as precedem. Realça-se que os valores destes raios, que estão apresentados no Quadro 6 em função do comprimento mínimo dos alinhamentos rectos (6VB), para velocidades base inferiores a 80 km/h são superiores aos respectivos raios mínimo normais.

Em termos de desenvolvimento, a Norma refere que as curvas circulares devem apresentar uma extensão mínima correspondente à distância percorrida em 2 segundos, à velocidade base, recomendando, no entanto, que a sua extensão seja superior a esse mínimo. No Quadro 6 apresentam-se os valores indicados, que aparecem sem uma base teórica fundamentada.

Esta observação deve de ser complementada com a verificação do desenvolvimento mínimo função do valor do ângulo de desvio e da existência de curvas de transição.

No caso das curvas apresentarem ângulos de desvio inferiores a 6 grados a extensão mínima será a dada pela expressão:

$$E_m = 40 (10 - \alpha) \quad (2)$$

sendo:

E_m – valor da extensão mínima da curva (m)

α - ângulo de desvio (grados)

No caso de terem ângulos de desvio superiores a 6 grados e velocidade base superior a 70km/h, a extensão mínima das curvas deverá ser de 150 m, sendo que no caso de utilização de curvas de transição, esta distância engloba metade da sua extensão.

A Norma observa a este propósito, e a título indicativo, que quanto maiores forem as distâncias a que as curvas são vistas mais estas se apresentam de forma torcida, devendo-se nestes casos aumentar os seus respectivos desenvolvimentos.

Quando da existência de duas curvas circulares consecutivas na mesmo sentido, a Norma determina que deve existir entre elas um alinhamento recto com um desenvolvimento correspondente à distância percorrida em 5 segundos à velocidade base, caso contrário deve ser estudada uma solução que permita substituir as duas curvas por uma única.

Como já referido em 2.3.2, o critério óptico também pode ter de ser utilizado como elemento definidor do raio mínimo de uma curva circular em planta. Dado a Norma não fazer referência aos valores dos raios mínimos definidos por este critério, apresenta-se seguidamente, de forma sucinta algumas considerações sobre a sua determinação e gama de valores.

Segundo Couto (1996), quer o campo de visão de um condutor, quer a perspectiva do espaço envolvente, variam com a velocidade a que se desloca o observador. Baseando-se nos estudos de Parayre e Trouchet, "Continuité de la forme dans l'espace", referidos por Ferrari et al. (1987), onde está representada, função da variação da velocidade, a distância

de acomodamento do olho (l_o), cuja definição corresponde à distância que vai do observador ao ponto sobre o qual o seu olhar se fixa, e em Ferrari et al. (1987) onde, também em função da variação da velocidade, é representada a variação do ângulo da visão periférica de um condutor (2Φ), constata que a distância de acomodamento aumenta com o crescimento da velocidade. A variação é crescente até perto dos 70km/h, tornando-se uniforme a partir dessa velocidade. Relativamente ao campo de visão periférica, verifica que existe uma diminuição uniforme do seu valor angular com o aumento da velocidade.

Assim, segundo o mesmo autor, o valor do raio mínimo de uma curva circular calculado pelo critério óptico, correspondente a uma determinada velocidade, é dado pela expressão:

$$r_{min} = \frac{l_o}{2 \cos \Phi \sin \Phi} \quad (3)$$

No Quadro 4 faz-se uma análise comparativa do raio mínimo obtido com o critério óptico (RO), com o raio mínimo normal (RN) determinado por critérios de segurança, onde se constata ser o primeiro, para qualquer velocidade base, superior ao segundo.

Quadro 4 - Comparação entre RO e RN

VB (km/h)	40	50	60	70	80	90	100
l_o (m)	200	240	290	350	420	500	570
2Φ (°)	100	90	79	68	58	47	36
RO (m)	203	240	295	378	495	684	970
RN (m)	110	180	250	350	450	550	700
RO / RN	1.85	1.33	1.18	1.08	1.10	1.24	1.39

Para a determinação dos raios mínimos pelos dois critérios, tomou-se como plataforma comparativa, em ambos, a velocidade base. De uma forma mais real deveria realizar-se o estudo comparativo, calculando-se RN função da velocidade base, e calculando-se RO função da velocidade de tráfego correspondente à velocidade base anterior. Com esta

abordagem, a diferença entre os valores mínimos dos raios torna-se ainda maior. Como exemplo, para uma VB de 60km/h, que tem o RN=250m, corresponde uma VT de 80km/h para a qual o RO=495m.

Interessante a verificação dos dois critérios de raios mínimos se aproximarem com o crescimento da VB até perto dos 70 km/h, passando a partir desta velocidade a razão entre os dois raios a ser cada vez maior.

Na Figura 2, está representado o gráfico resultante do Quadro 4, pretendendo representar a variação dos raios mínimos determinados pelos critério óptico e de segurança, função da velocidade base. Com ele, constata-se que enquanto com o crescimento da velocidade base o RN apresenta um crescimento quase aritmético, portanto praticamente constante, o RO apresenta um crescimento variável, inferior ao do RN até aos 70 km/h e superior a partir deste valor.

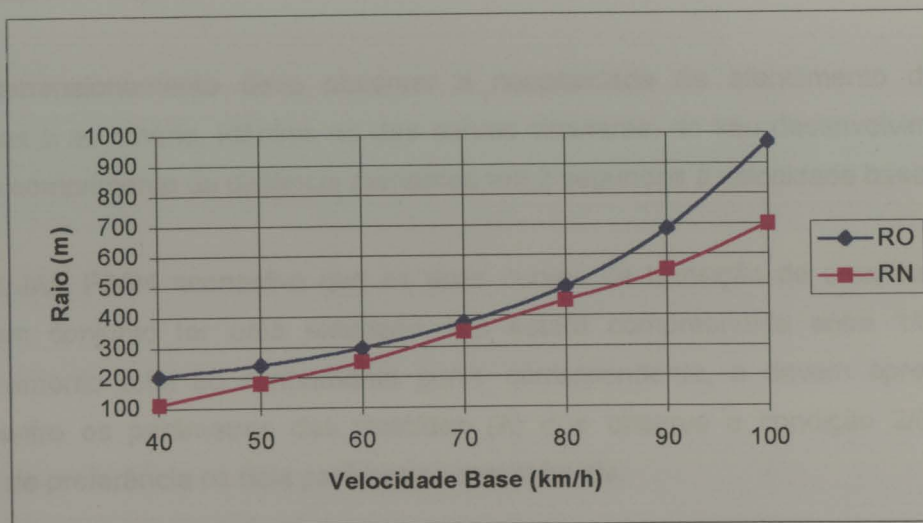


Figura 2 – Variação de RO e RN com VB

Ainda segundo Couto (1996), é compreensível a omissão na Norma Portuguesa deste critério na fixação dos raios mínimos das curvas circulares. Dado o condutor ser menos influenciável pelo critério óptico que pelos critérios de estabilidade, na realidade adopta velocidades próximas das estabelecidas pelo equilíbrio do veículo em curva, caindo-se num

dimensionamento por este critério. Para uma significativa percentagem de condutores o factor visibilidade em curva é menos importante que as condições de equilíbrio dinâmico do veículo.

2.4.1.3 – Curvas de transição

As curvas de transição são elementos intercalares entre os alinhamentos rectos e as curvas circulares que se destinam, segundo a Norma de Traçado, a assegurar as seguintes funções:

- variação de uma forma contínua da diferença de aceleração centrífuga que aparece ao se passar de um alinhamento recto para uma curva circular, que por razões de comodidade e segurança não deve ser superior a 0.5m/s^2 ;
- permitir efectuar a transição da sobrelevação e da sobrelargura;
- melhorar a comodidade óptica do traçado, devendo proporcionar um ângulo mínimo de deflexão de 3.5 graus.

O seu dimensionamento deve observar a necessidade de atendimento das funções enunciadas e ao critério, idêntico ao das curvas circulares, do seu desenvolvimento ter no mínimo o comprimento da distância percorrida em 2 segundos à velocidade base.

A Norma JAE P3/94 aconselha que as duas curvas de transição de uma curva circular, devem em conjunto ter uma extensão que estará compreendida entre $1/3$ e $2/3$ do desenvolvimento total do alinhamento curvo correspondente, e devem apresentar uma relação entre os parâmetros das clotóides (A) que observe a condição $2/3 < A_1/A_2 < 3/2$, devendo de preferência os dois parâmetros serem iguais.

Por questões de segurança devem ser evitadas curvas de transição em vértice, no mesmo sentido ou consecutivas.

Os valores mínimos do parâmetro da clotóide para as várias velocidades base, estão indicados no Quadro 6.

No Quadro 5 é feita uma análise comparativa dos parâmetros mínimos das clotóides determinados pelos vários critérios, conjuntamente com os valores mínimos definidos pela

Norma. Pela sua análise verifica-se que o critério condicionante é para as curvas de pequeno raio o critério da comodidade e para curvas de grandes raios o critério da percepção óptica.

De referir que na actual Norma comparativamente com a anterior, no critério da comodidade a expressão de dimensionamento foi simplificada, tendo sido retirado o efeito da sobrelevação que era benéfico na redução da incomodidade sentida pelos condutores.

Verifica-se que os valores mínimos do valor A preconizados pela Norma são até aos 70km/h inferiores a todos os critérios que a Norma obriga a satisfazer. A partir daquela velocidade os valores são, pelo menos, inferiores ao critério da percepção óptica.

Quadro 5 - Análise comparativa dos parâmetros mínimos das clotóides

VB (km/h)	VT (km/h)	RN (m)	Se (%)	Δ_i (%)	$A_{\min}$				Norma
					$0.1464 \sqrt{\frac{VB^3}{ac^*}}$	$\sqrt{R \left(\frac{lSe}{2\Delta_i} \right)^{**}}$	$\sqrt{\frac{RxVB}{1.8}}$	$\frac{R}{3}$	
40		110	7		53		50	37	35
50		180	7		74		71	60	50
60	80	250	7	1.0	97	79	92	84	70
70		350	7		122		117	117	90
80	100	450	7	0.8	149	118	142	150	120
90		550	6.5		177			183	150
100	120	700	5.5	0.8	207	146	197	234	180
120	130	1000	4.5	0.8	273	175	259	334	270
140	140	1400	3.5	0.8	343	207	330	467	410

* $ac = 0.5m/s^3$

** com $l = 7m$

$A = \sqrt{RxL}$ para $A_{\min} \Rightarrow L_{\min} \Rightarrow \Delta_i \text{ máx}$

2.4.1.4 – Homogeneidade de traçado em planta

No fim do capítulo de Traçado em Planta, a Norma para o garante de um mínimo de homogeneidade de traçado em planta, sistematiza uma série de recomendações, fazendo assim, um resumo das várias indicações dadas ao longo do capítulo, onde simultaneamente faz um apelo ao bom senso do projectista, nomeadamente:

- do cuidado que há a ter na localização de intersecções, zonas em que o número de acções e decisões que o condutor tem que efectuar são várias, onde existem pontos de conflito, e onde normalmente estão associados índices de acidentes elevados. Estes locais devem estar localizados em alinhamentos rectos, com distâncias de visibilidade no mínimo iguais à distância de visibilidade de decisão;
- evitar a utilização de raios mínimos absolutos, dado estes raios estarem associados a condições de segurança consideradas limites;
- nunca localizar a seguir a um longo alinhamento recto uma curva de pequeno raio, devendo, como já referido, este ser função do comprimento do alinhamento recto. Caso seja necessária uma redução significativa da VB esta deve efectuar-se em curvas sucessivas com redução gradual dos respectivos raios;
- evitar grandes variações dos valores dos raios em curvas sucessivas, devendo ser prestada atenção ao gráfico da figura 1;
- não adoptar curvas de pequeno raio em zonas de aterros de grande altura, dado que nestas circunstâncias não existem pontos de referência ao nível ou acima da plataforma, o que dificulta a percepção e a estimativa do raio da curva;
- evitar as mudanças bruscas de direcção do traçado. Entre duas curvas sucessivas de sentido contrário deve existir espaço suficiente para se poder introduzir as clotóides de concordância e o alinhamento recto, que devem apresentar uma extensão mínima;
- as curvas circulares em planta devem condicionar as concordâncias verticais.

2.4.2 – Traçado em perfil longitudinal

No estudo de um perfil longitudinal a Norma refere que o projectista deve “ter em consideração a topografia, o traçado em planta, a distância de visibilidade, a segurança, os

custos de construção, a drenagem e a integração no meio ambiente". A sua constituição é resultante de uma sequência de traineis intercalados por concordâncias verticais.

2.4.2.1 – Traineis

No estudo dos traineis, é essencial para a manutenção do nível de serviço pretendido a consideração conjunta da sua extensão com a sua inclinação, dado da sua conjugação resultar o principal factor de diminuição de velocidade, principalmente em veículos pesados, condicionando assim a circulação, a segurança e o nível de serviço. Tal problema coloca-se, quer no sentido ascendente como descendente, originando neste caso o aumento das distâncias de travagem.

A Norma P3/94 apresenta valores de inclinação máxima de traineis em função da velocidade base, que são apresentados no Quadro 6, com a referência que quando utilizados, a extensão máxima do trainel deverá ser de 3km. É, no entanto, feita uma ressalva para terrenos acidentados, em que o respeito destas inclinações podem originar custos de construção muito elevados. Nestes casos os valores máximos apresentados podem ser acrescidos em 1%, limitando-se, neste caso, a extensão do trainel a 600m, ou em 2% limitando a extensão do trainel a 300m. Em zonas de intersecções a inclinação máxima deve ser limitada a 4%.

Para além destes valores de inclinação limite, deve-se atender que a conjugação do valor da inclinação do trainel com a inclinação transversal da estrada, não pode originar uma linha de maior inclinação no pavimento de valor superior a 10%.

Paralelamente é introduzida a noção de extensão crítica de um trainel, definindo-se como a extensão máxima que, para uma determinada velocidade base e inclinação, provoca a diminuição de velocidade de um veículo pesado relativamente a um veículo ligeiro de 15km/h, admitindo-se que a velocidade do veículo pesado no início do trainel é de 90km/h. Estes valores estão igualmente indicados no Quadro 6 e servem para verificação da necessidade de vias especiais para veículos lentos.

A noção de extensão crítica é importante em termos de consistência e de segurança da estrada, pois o seu incumprimento vai influenciar o tipo de condução e de actuação que o condutor vai ter que realizar, tomando o perfil longitudinal do traçado um papel importante na diferença de velocidades entre classes de veículos. A própria Norma refere que quanto maior for a diferença da velocidade dos veículos pesados para a velocidade média de tráfego, geralmente consequência de traneis com extensões e inclinações elevadas, maior é a taxa de envolvimento de veículos pesados em acidentes, referindo que para um diferencial de velocidades de 25 km/h é nove vezes maior do que quando é idêntica à dos veículos ligeiros.

Por questões de segurança, em termos de drenagem, é estabelecido, uma inclinação mínima de 0.5%, que se deve manter em zona de curva tendo em conta a sobrelevação. Nestes elementos deve-se garantir uma inclinação mínima de:

$$i - \Delta i = 0.5\% \quad (4)$$

em que:

i = inclinação do tranel em %

Δi = inclinação do bordo exterior da faixa de rodagem em relação ao eixo em %

2.4.2.2 – Concordâncias verticais

Nas concordâncias verticais entre traneis são utilizadas curvas parabólicas de 2º grau, sendo o raio mínimo condicionado por critérios de visibilidade e de comodidade, elementos fundamentais para a segurança de circulação.

A utilização de curvas parabólicas apresenta vantagens relativamente à utilização de curvas circulares, pela simplicidade de cálculo, melhoria na comodidade de circulação e ligeira melhoria da visibilidade.

O projectista deve ter em atenção que, em termos de drenagem, existe uma extensão na zona dos vértices das concordâncias ($Z_v = R_v/100$, sendo R_v o raio mínimo da concordância parabólica vertical) em que a inclinação longitudinal é inferior a 0.5% devendo o

escoamento ser efectuado, no sentido transversal através da faixa de rodagem e das bermas, que devem estar preparadas para tal.

A Norma apresenta valores mínimos de raios e desenvolvimentos, quer para as concordâncias convexas, quer para as concordâncias côncavas. Nas primeiras o raio é função da distância de visibilidade de paragem, enquanto que o seu desenvolvimento tem que ver com critérios de conforto óptico. Nas segundas a determinação do raio e desenvolvimento mínimo está condicionado pela distância de visibilidade nocturna e pela comodidade, não devendo a aceleração vertical ultrapassar os 0.25m/s², sendo que para velocidades inferiores a 80km/h o critério predominante é o relativo à visibilidade nocturna.

No Quadro 6 estão representados os valores indicados pela Norma de Traçado, quer para raios mínimos, quer para desenvolvimentos mínimos. No caso das concordâncias convexas são apresentados, função da velocidade de tráfego, os valores normais e absolutos, sendo os últimos só aplicáveis em estradas com faixas de rodagem unidireccionais.

O desenvolvimento mínimo absoluto das concordâncias convexas corresponde ao critério da concordância ter de ser percorrida num tempo mínimo de 3.6 segundos à velocidade de tráfego, o que faz coincidir os valores dos desenvolvimentos mínimos com os da velocidade de tráfego.

Couto (1996), em estudo justificativo dos valores mínimos, para concordâncias verticais, referidos na Norma Portuguesa, apresenta no caso das concordâncias convexas para a determinação do raio mínimo, na situação do desenvolvimento da concordância (D) ser superior ao da distância de visibilidade necessária (D_v) a seguinte expressão:

$$R = \frac{D_v^2}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} \quad (5)$$

e, para o caso de D ser inferior D_v, a expressão:

$$R = \frac{2}{|\Delta i|} \left(D_v - \frac{(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{|\Delta i|} \right) \quad (6)$$

em que:

Δi – diferença de inclinação entre traineis;

h_1 – altura dos olhos do condutor ao plano da estrada, fixado em 1.05m;

h_2 – altura do obstáculo em relação ao plano da estrada, fixado em 0.15m.

A segunda expressão (6), dado resultarem valores de raios sempre inferiores aos que advêm da aplicação da expressão (5), não é considerada na Norma.

Para a determinação dos raios mínimos absolutos, a aplicar só em estradas de faixas unidireccionais, a Norma considera na expressão (5) que $D_v = DP$. No caso dos raios mínimos normais, na mesma expressão é considerado que $D_v = 2DP$ e que $h_1 = h_2 = 1.05m$.

No caso dos raios mínimos de ultrapassagem, em que devem ser aplicados na mesma expressão os valores de $D_v = DU$ e de $h_1 = h_2 = 1.05m$, resultam valores muito superiores aos indicados na Norma, pelo que o projectista deve ter um certo cuidado na utilização daqueles valores.

Como medida de segurança e por forma a evitar zonas que criem ambiguidade de percepção por parte do condutor, nas concordâncias convexas não sendo possível garantir a distância de visibilidade de ultrapassagem deve adoptar-se um raio que assegure unicamente a distância de visibilidade de paragem.

Para as concordâncias côncavas, Couto (1996), também deduz o formulário para a determinação dos valores apresentados na Norma, subdividindo a análise para velocidades de tráfego inferiores e superiores a 80 km/h e no caso de velocidades inferiores a 80 km/h à hipótese da distância de visibilidade ser superior ou inferior ao desenvolvimento da concordância, apresentando as seguintes expressões:

- se $V < 80$ km/h e $D_v < D$

$$R = \frac{D_v^2}{2 \left(h_1 + D_v \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \right)} \quad (7)$$

- se $V < 80 \text{ km/h}$ e $D_v > D$

$$R = 2 \cdot \frac{D_v}{\Delta i} - \frac{2 \left(h_1 + D_v \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \right)}{\Delta i^2} \quad (8)$$

- se $V > 80 \text{ km/h}$

$$R = \frac{V^2}{3.24} \quad (9)$$

em que:

Δi – diferença de inclinação entre traineis;

h_1 – altura dos faróis ao plano da estrada, fixado em 0.60m;

θ – abertura em graus do cone vertical de luz projectado pelos faróis, fixado em 2° .

A segunda expressão (8), de forma análoga ao que se passa com as concordância convexas, dado resultarem valores de raios sempre inferiores aos que advêm da aplicação da expressão (7), não são considerados na Norma.

Na fixação dos valores mínimos das concordâncias côncavas através da expressão (7), a Norma Portuguesa atribui à distância de visibilidade o valor da distância de visibilidade de paragem (DP).

No caso de $V > 80 \text{ km/h}$, apesar da Norma condicionar a determinação dos raios mínimos ao critério da comodidade, os valores indicados são superiores aos que resultam da aplicação da expressão (9).

Refere-se que no capítulo da Norma de Traçado relativo às concordâncias verticais em nenhum local é referida qual a velocidade a utilizar, aparecendo nos quadros de indicação dos raios mínimos unicamente a designação de “velocidade”, com uma variação desta entre 40 km/h e 140 km/h.

A única indicação que existe sobre o tipo de velocidade a utilizar é dada pelo Quadro IV da Norma relativo às velocidades a considerar na definição dos vários elementos de traçado, onde se refere que na determinação do raio mínimo das concordâncias verticais se deve

utilizar a velocidade de tráfego, sendo esta, de facto, a velocidade que é utilizada pela Norma no seu cálculo.

Reportando unicamente ao capítulo da Norma das concordâncias verticais, a confusão sobre o tipo de velocidade a considerar existe, atendendo-se a que no Quadro XIV para as velocidades referidas estão indicados os valores dos traineis máximos e extensões críticas que têm correspondência com velocidade base e raios mínimos das concordâncias verticais respeitantes à velocidade de tráfego. Esta questão é ainda potenciada pelo facto do intervalo das velocidades indicadas começar nos 40 km/h, velocidade não utilizada como velocidade de tráfego.

2.4.2.3 – Vias adicionais

A Norma estabelece que por forma a se manter um determinado nível de serviço, função da extensão das zonas de ultrapassagem e sua frequência, da redução da velocidade dos veículos pesados, que tem que ver com a extensão e inclinação dos traineis, e do volume de tráfego, quando se reunirem as seguintes condições:

- extensão do trainel superior à extensão crítica correspondente à sua inclinação;
- volume horário de projecto superior a 200 veículos;
- volume de veículos pesados superior a 20 veículos / hora.

estão criadas as condições para existir uma via adicional em rampa, ressalvando que o seu benefício para traineis com inclinação inferior a 4% é mínimo.

Por questões de segurança, que têm que ver com a necessidade de se poder realizar ultrapassagens, a extensão mínima para uma via de lentos deve ser de 400m, excluindo a extensão das transições. A transição inicial deve ter uma extensão de 100m e o comprimento da convergência final é função da velocidade base, estando os seus valores apresentados no Quadro 6.

No sentido descendente de um trainel, o problema da redução de velocidade de um veículo pesado também se coloca, sendo o seu efeito semelhante ao de uma rampa, tendo igualmente reflexo na capacidade e segurança da via e tornando-se tanto maior quanto mais elevado for o volume de tráfego.

A Norma refere que de uma maneira empírica se deve considerar a existência de uma via de lentos nos declives com inclinação superior a 6% e extensão superior a 1000m, e a necessidade da existência de escapatórias em declives de inclinação igualmente superiores a 6% e extensão superior a 2000m. A sua localização deverá ter em conta o perfil de temperaturas do sistema de travagem dos veículos pesados, que não deverá ultrapassar os 260°. É igualmente referido que os declives são mais perigosos que as rampas (devido à dificuldade de travagem), estando estatisticamente provado que a maior percentagem de acidentes em traneis extensos se dá no sentido descendente.

2.4.3 – Coordenação de traçado em planta e perfil longitudinal

Um projecto de vias de comunicação é um projecto que tem que ser encarado em três dimensões, sendo este um aspecto fundamental no garante da homogeneidade do traçado e posterior consistência da estrada. Além do cumprimento do normativo quer em termos de traçado em planta, quer em traçado do perfil longitudinal, a sua análise conjunta é um factor essencial na obtenção de uma melhor qualidade de projecto.

A actual Norma de Traçado introduz um pequeno capítulo em que aborda esta questão e onde estabelece uma série de recomendações e princípios.

Neste sentido, o aspecto visual da estrada é eleito como o elemento fundamental das características geométricas do traçado, devendo a estrada possibilitar a visualização de uma distância que permita compreender perfeitamente o traçado, distinguir as zonas singulares e estabelecer uma condução agradável onde impere o conforto óptico, assegurando-se assim a segurança e a comodidade de circulação.

Com este objectivo a Norma indica que se deve respeitar os seguintes princípios:

- o traçado em planta e perfil, deve integrar-se no meio ambiente;
- a localização de zonas singulares não se deve verificar em concordâncias convexas, curvas de pequena raio, ou zonas em que exista descontinuidade em perspectiva;
- a sobreposição das curvas em planta e perfil melhoram normalmente o aspecto visual da estrada, devendo-se, no entanto, analisar as consequências desta sobreposição quanto à segurança e à operação do tráfego;

- as curvas verticais de pequeno desenvolvimento não devem coincidir com curvas horizontais;
- as curvas verticais de grande desenvolvimento devem coincidir com curvas horizontais, devendo existir coincidência de ambas as bissectrizes;
- dado as curvas horizontais vistas à distância parecerem ter uma extensão diminuta, o seu raio deve ser o maior possível de modo a evitar o aspecto de uma quebra;
- deve-se dar preferência a curvas horizontais de grande desenvolvimento em vez de grandes alinhamentos rectos com curvas de pequena extensão;
- sempre que o aumento de custo de construção seja economicamente aceitável, as estradas com 2 x 2 vias devem ter alinhamentos independentes;
- assegurar, nas estradas com duas vias, oportunidades de efectuar ultrapassagens com segurança, podendo esta necessidade limitar a adopção das melhores combinações do traçado em planta e perfil.

2,5 – Perfil transversal

O perfil transversal, entendido como o conjunto da faixa de rodagem, das bermas, separador, valetas e taludes, apresenta-se como um elemento importante na contribuição para a existência de consistência na estrada, dado a largura das vias de tráfego e das bermas afectarem o comportamento do condutor e a respectiva velocidade de circulação.

A Norma P3/94 apresenta larguras de vias mínimas para os vários tipos de estrada da Rede Nacional função da velocidade base. Para as bermas, que devem apresentar uma textura contrastante com a faixa de rodagem, é também apresentado um quadro com dimensões mínimas, quer para as bermas esquerdas, quer para as direitas. Além da berma pavimentada ainda há que considerar uma zona exterior a esta, com 0.75m, e a zona de ligação e concordância entre esta zona de concordância e a valeta ou o talude com 0.60m. Estes valores são apresentados no Quadro 6.

A Norma refere que para curvas circulares de raio inferior a 200m deve ser adoptado uma sobrelargura na curva circular. Na Rede Nacional tal caso só pode acontecer em estradas com velocidade base inferior a 70 km/h, caso se considere raios mínimos absolutos, ou para

velocidades base inferiores a 50 km/h, caso se considere raios mínimos normais, o que equivale a dizer que é uma condição que em projectos novos praticamente não se aplica.

Por razões de drenagem, em alinhamento recto o perfil transversal deve apresentar uma inclinação transversal que é definida em 2.5% para pavimentos betuminosos e 2% para pavimentos de betão de cimento.

Em elementos curvos deve ser aplicada uma sobreelevação, que vai contribuir para a segurança e comodidade de circulação, compensando parte da força centrífuga que é exercida sobre o veículo ao circular em curva, e favorece a percepção da curva e a orientação óptica do condutor.

Na determinação da sobreelevação, que se encontra tabelada na Norma em função do tipo de estrada e do raio da curva circular, deve ser feita uma análise conjunta com o perfil longitudinal, pois por razões de segurança, por causa da formação de gelo na estrada, a linha de maior inclinação do pavimento não deve ultrapassar os 10%. Caso isto aconteça não se deve diminuir a sobreelevação mas sim a inclinação do trainel longitudinal.

A variação de valores para a sobreelevação, segundo o tipo de estrada, 2 vias ou 2 x 2 vias, deve-se ao facto de nas estradas de 2 x 2 vias a velocidade de tráfego ser superior à das estradas de 2 vias.

A sobreelevação deve ser constante em todo o perfil transversal pavimentado da estrada, nomeadamente vias principais, adicionais, de aceleração e desaceleração, e bermas pavimentadas. Este critério diferente da anterior Norma, origina que em termos de drenagem a berma exterior drene para a faixa de rodagem, constatando-se que esta questão foi colocada em plano inferior à da não existência de quebras no perfil transversal e à sua maior facilidade e fiabilidade de pavimentação.

Na Norma é chamada a atenção, para a transição da sobreelevação, que deve ser efectuada ao longo da curva de transição, onde deve existir um especial cuidado com a drenagem (que tem obrigatoriamente de ser assegurada), para a variação da aceleração transversal não compensada pela sobreelevação (que deve ser cómoda), e finalmente para a obtenção de um traçado óptico agradável.

A sobrelevação deixa de ser considerada para estradas de duas vias em curvas de raio superior a 2500m e em estradas de 2 x 2 vias para curvas de raio superior a 5000m.

Como elemento constituinte do perfil transversal, a Norma define o separador central como a distância entre os bordos interiores das faixas de rodagem unidireccionais, incluindo assim as bermas esquerdas. Os seus valores também se encontram tabelados na Norma função da velocidade base e são apresentados no Quadro 6.

Em termos de homogeneidade de traçado a Norma refere que quando exista uma variação de perfil transversal numa estrada de duas vias, pela introdução de uma secção com 2 x 2 vias, esta não deve ter uma extensão inferior a 3 km com um mínimo absoluto de 2 km, devendo a transição da secção de 2 x 2 vias para as 2 vias ser efectuada pela supressão das vias da esquerda, antes do fim do separador.

2.6 – Controlo dos projectos

No último capítulo da Norma P3/94 é apresentado um modelo de controle de projectos sobre três áreas consideradas fundamentais:

- características geométricas;
- segurança de circulação;
- e qualidade de circulação.

Em termos de características geométricas indica que se deve procurar que exista uma sequência equilibrada dos elementos sucessivos do traçado em planta e perfil, em que estes devem respeitar os valores limites anteriormente indicados. Por outro lado, salienta que se deve procurar uma coordenação do traçado entre o traçado em planta e o perfil longitudinal, controlando-se as variações das velocidades específicas dos elementos geométricos sucessivos e simultaneamente a diferença entre estas e a velocidade de tráfego e consequentemente também com a velocidade base. Paralelamente indica que se deve procurar a constância do perfil transversal ao longo do traçado.

Na área de segurança de circulação é definido que se deve garantir e controlar que exista em todo o desenvolvimento do traçado a distância de visibilidade mínima de paragem e que exista uma suficiência de locais com distâncias de visibilidade de ultrapassagem.

Finalmente no sentido de se garantir uma qualidade de circulação, é essencial o conhecimento e análise do diagrama de velocidades específicas, que irá permitir ter uma avaliação sobre a homogeneidade do traçado e a existência de diferenças perigosas de velocidade entre elementos sucessivos.

Para a construção do diagrama de velocidades específicas a Norma determina a sequência da sua construção, indicando que :

- em primeiro lugar é necessário a determinação da velocidade específica de cada elemento isolado do traçado, alinhamentos rectos e curvos;
- seguidamente determinar o início das zonas de aceleração e o fim das zonas de desaceleração;
- e por fim calcular as distâncias de transição (aceleração e desaceleração).

A velocidade específica nas curvas, em função do raio, é a indicada na Norma e que se encontra descrita no Quadro 6. Para raios intermédios aos indicados deve ser adoptada a velocidade específica imediatamente superior. Em recta a velocidade específica é a velocidade de tráfego do trecho em estudo, desde que a sua extensão seja superior à extensão mínima correspondente à velocidade base. Se tal não se verificar dever-se-á adoptar a menor das velocidades específicas das curvas que delimitam o alinhamento recto.

A distância de transição (DT) é definida como a distância ao longo da qual é executada a variação da velocidade específica entre dois elementos consecutivos do traçado, e é definida pela expressão:

$$DT = \Delta V * \frac{V_m}{10} \quad (10)$$

sendo:

$$\Delta V = Ve_1 - Ve_2 \quad (\text{em Km/h}) \quad (11)$$

$$V_m = \frac{(Ve_1 + Ve_2)}{2} \quad (\text{em km/h}) \quad (12)$$

em que:

Ve_1 e Ve_2 - velocidades específicas dos elementos entre os quais se pretende realizar a transição.

Paralelamente é apresentado um ábaco de onde se pode retirar directamente estas distâncias de transição.

Na determinação das distâncias de transição, no caso das desacelerações à entrada de alinhamentos curvos há que ter em atenção que a distância de transição tem que ser inferior à distancia de paragem de decisão.

Quadro 6 – Resumo das Normas de Traçado

[illegible]

3 – A HOMOGENEIDADE E A CONSISTÊNCIA NOS TRAÇADOS RODOVIÁRIOS

3.1 – Conceitos de homogeneidade e consistência

Um dos critérios de análise dos traçados rodoviários e consequentemente dos projectos de estradas, a que actualmente se está a dar grande relevo por questões de segurança é o da sua homogeneidade e consistência.

Na actual Norma de Traçado JAE P3/94 houve uma grande evolução relativamente ao normativo anterior na abordagem da questão da homogeneidade que deve ter um traçado e da existência de consistência que uma estrada deve possuir.

São numerosas as regras e as recomendações, que estão indicadas na actual Norma, para que se concretize um aumento da homogeneidade entre os vários elementos geométricos constituintes do traçado e da consistência da estrada. Com o mesmo intuito, e de uma forma mais abrangente, são apresentadas, igualmente, indicações de limitações de variação de certos parâmetros entre trechos ou secções sucessivas de uma mesma estrada.

É no entanto corrente, a utilização dos conceitos de homogeneidade e consistência de uma forma confusa, o que leva muitas vezes à aplicação destas duas terminologias quase que de uma forma indiferente, ou com significados inversos.

Existe, no entanto, uma grande diferença entre o que é um traçado homogéneo e o que é uma estrada consistente, sendo este último um conceito muito mais abrangente que o primeiro.

Homogeneidade é a qualidade de ser homogéneo, isto é, de ser do mesmo género. O traçado de uma estrada pode considerar-se homogéneo se apresentar um mínimo de variações das suas características geométricas ao longo do percurso, nomeadamente ao nível da variação da velocidade específica entre elementos sucessivos, sendo este, na actual Norma, o principal parâmetro de verificação da homogeneidade do traçado, concretizado no diagrama das velocidades específicas. Como exemplo limite pode-se referir

que, em termos de geometria de traçado, um alinhamento recto plano é o traçado mais homogéneo que pode existir.

O conceito de homogeneidade é um conceito físico, que está relacionado directa e concretamente com a geometria do traçado, o que o coloca como um parâmetro de fácil abordagem e normalização.

Consistência de uma estrada é um conceito muito mais abrangente. Consistência pressupõe estabilidade, coerência interna, não só do traçado mas de todo o meio envolvente à estrada e das acções que todo este conjunto exerce sobre o condutor.

Não são só as características geométricas longitudinais de uma secção de estrada que influenciam a velocidade a que um condutor circula, vários factores adicionais o influenciam, nomeadamente:

- o perfil transversal tipo, tendo importância, a largura da faixa de rodagem, o tipo de camada de desgaste e o seu estado de conservação, e a largura das bermas;
- a distância de visibilidade;
- o volume, natureza e tipo de tráfego;
- as intersecções existentes e os acessos marginais;
- a própria componente ambiental do meio onde a estrada está integrada.

Estes factores vão influenciar o tipo de condução, velocidade e risco que o condutor pretende assumir. Com uma estrada consistente pretende-se que o condutor mantenha uma concentração e tipo de condução o mais uniforme possível e possa realizar uma condução preventiva e antecipativa, obtendo-se como consequência directa uma maior segurança de circulação e uma diminuição do número de acidentes, questão que em Portugal, por maioria de razões, é crucial.

Um exemplo da diferença entre homogeneidade e consistência pode ser dado através de um problema que aparece sistematicamente quando do atravessamento, ou aproximação, por uma estrada da Rede Nacional, de uma área metropolitana. Por muito homogéneo que seja o seu traçado com a aproximação de um grande centro urbano o tipo de condução altera-se. Na corrente de tráfego passam a coexistir condutores que pretendem fazer o atravessamento da região, com condutores que estão embuídos do espírito de uma

deslocação local, com conceitos de condução e velocidade completamente distintos. Paralelamente há variações muito grandes e repentinas do fluxo de tráfego, o número de intersecções aumenta, a componente ambiental do meio envolvente da estrada muda e principalmente altera-se a assunção do risco por parte dos condutores. Passa-se de uma estrada em meio rural para uma estrada que se desenvolve em ambiente urbano.

Com este exemplo verifica-se como numa estrada que mantém os mesmos parâmetros geométricos de traçado (homogeneidade) pode apresentar, de uma forma repentina, uma variação da sua consistência.

A melhoria da homogeneidade do projecto de traçado de uma estrada através de normativas ou recomendações é, no entanto, o primeiro e mais importante passo para a consistência da estrada.

Pode-se controlar a homogeneidade através da variação da velocidade entre elementos sucessivos da estrada, pode-se avançar para o conceito de consistência se balizar-se esta variação em torno da velocidade de circulação, ou operacional, pretendida.

A utilização do termo velocidade de circulação ou operacional, em vez de velocidade de tráfego não foi feita por mero acaso. O facto da velocidade de tráfego ser calculada a partir da velocidade base, dependendo apenas desta e podendo-se interpretar como sendo uma velocidade em secções sem constrangimentos, conduz a uma interpretação contrária à própria definição de velocidade de tráfego, como sendo a velocidade que é excedida por 15% dos condutores tendo em conta as condições existentes, isto é a influência do estado da via, do tráfego e do meio ambiente.

No entanto, dada a dificuldade de obtenção de dados reais de velocidade de circulação para uma estrada ou secção da mesma, a adopção da velocidade de tráfego como representativa da velocidade de circulação torna-se válida no pressuposto que o respeito pelas regras e recomendações da Norma P3/94 levam a uma homogeneidade de traçado e consequentemente à consistência da estrada, aproximando a velocidade de circulação real da velocidade de tráfego preconizada.

3.2 – A avaliação do traçado no objectivo da procura de consistência

Pretender-se alcançar uma estrada que seja consistente, como meio de se atingir uma circulação do tráfego fluida e segura, é actualmente um objectivo importante no estudo e desenvolvimento do seu projecto. O objectivo deste capítulo é apresentar um resumo de alguns estudos actuais sobre parâmetros que influenciam a consistência de um projecto de uma estrada e a sua importância como meio de avaliação da qualidade de um projecto, fundamentalmente ao nível da geometria de traçado.

Este resumo de considerações sobre parâmetros com influência na consistência e, subsequentemente, na qualidade de um projecto de uma estrada, foi focalizado em estradas rurais de duas vias, sendo que este tipo de estradas representa a grande percentagem da estrutura viária das actuais redes de estradas e paralelamente são as que apresentam maior sinistralidade.

Segundo Al-Masseid et al. (1994) uma das principais razões da ocorrência de acidentes é a falta de consistência de uma estrada, definida como o grau com que cada estrada evita a execução de manobras críticas e assegura uma condução confortável e segura.

Um projecto que origine uma estrada consistente vai garantir que os elementos geométricos sucessivos actuem de forma coordenada e proporcionem uma condução segura, harmoniosa e sem efeitos surpresa.

A avaliação da qualidade de um traçado de uma estrada com o objectivo da concretização da existência de consistência, pode ser dividida em três áreas principais: análise de velocidade, de segurança e de desempenho.

De velocidade, pois quer o cálculo das velocidades específicas função da geometria do traçado da estrada, como a velocidade de tráfego, permitem que através do seu estudo se possa realizar uma análise da existência de homogeneidade nos vários elementos geométricos vistos de forma isolada ou em sequência.

De segurança, dado ser um dos sectores essenciais na identificação de existência de inconsistências de traçados, sendo dada especial atenção à caracterização dos acidentes

de tráfego, ao perfil transversal da estrada, ao alinhamento horizontal e vertical, à visibilidade, ao volume de tráfego e à estabilidade do veículo, pretendendo-se estabelecer uma relação entre a segurança da estrada, os elementos geométricos que a constituem e o tráfego.

De desempenho da estrada, por este fenómeno estar directamente relacionado com a carga de trabalho de condução e concentração a que o condutor está submetido, permitindo retirar conclusões sobre o tipo de condução a que a estrada induz. Neste âmbito, incluem-se aspectos que afectam a eficácia da estrada, como a estética do seu desenvolvimento, a sua envolvente ambiental, e as alterações de características de traçado (Gibreel et al 1998).

3.3 – Análise sobre velocidades

Quando se pretende realizar uma deslocação, a velocidade é um factor importante na escolha do modo de transporte e na selecção do tipo de via. A atractividade das diferentes estradas é ponderada pelo utente em função do tempo de percurso, da comodidade e do respectivo custo.

A velocidade é, para o condutor, um dos parâmetros que mais fácil e directamente lhe permite avaliar a qualidade de serviço prestada por uma estrada.

Segundo Tignor et al. (1990) os condutores escolhem prioritariamente a velocidade que consideram adequada para o troço de estrada em que circulam função de determinados parâmetros em detrimento dos limites máximos legais de velocidade.

Quando devidamente fiscalizada, a colocação de limites de velocidade, nomeadamente no sentido de diminuição da velocidade praticada em alguns troços de estrada, tem como consequência a diminuição da velocidade média e do desvio padrão da distribuição das velocidades. Segundo alguns estudos é mais importante na redução do número de acidentes a diminuição da variação de velocidades entre veículos que a diminuição da velocidade média, apresentando esta, no entanto, influência na gravidade dos acidentes.

Sobre a análise da distribuição de velocidades num local fixo, verifica-se que o desvio padrão da velocidade é maior se a medição for feita em local situado em alinhamento recto do que se for executada num alinhamento curvo. Independentemente do local, McLean (1989), refere que nos países em desenvolvimento os desvios padrão da velocidade têm tendência para diminuir, resultado do crescimento da velocidade média, consequência da renovação dos veículos mais lentos.

Na Norma Portuguesa de Traçado, como já referido, existem três conceitos de velocidade. A velocidade base e a velocidade específica têm por base critérios de segurança, estando a primeira associada a um troço de estrada e a segunda ligada a elementos geométricos do traçado considerados isoladamente. O terceiro conceito corresponde à velocidade de tráfego, que por definição é representativa da velocidade real praticada em determinada secção da estrada, traduzindo-a como o percentil 85 da curva de distribuição cumulativa das velocidades.

Paralelamente a Norma associa um carácter de segurança à velocidade de tráfego, admitindo que os 15% dos veículos que excedem essa velocidade circulam a velocidades não seguras. Neste contexto, numa determinada secção, a velocidade de tráfego deve ser próxima da velocidade específica, devendo ser este o pretexto para a Norma fazer a extrapolação de considerar como representativa da velocidade específica a velocidade de tráfego. Posteriormente ao fazer a indexação da velocidade de tráfego à velocidade base retira-lhe a individualização do elemento geométrico, tomando-a numa velocidade associada a um troço de estrada, ficando a velocidade específica como a única velocidade capaz de reflectir a variação geométrica do traçado e de permitir a sua análise.

O campo de aplicação de cada uma das velocidades é definido na Norma da seguinte forma:

- através da velocidade base são definidas as características mínimas de um traçado que têm por base critérios de segurança;
- a velocidade de tráfego, é definidora de características mínimas de elementos de projecto relacionados com a velocidade de circulação, caso da distância de visibilidade;
- a velocidade específica permitirá a análise e o controlo do projecto através do estudo da sua variação entre elementos geométricos sucessivos, ainda que de uma forma mista com a velocidade de tráfego, pois dada a dificuldade de quantificação da velocidade

específica em recta, a Norma admite que a velocidade de tráfego é representativa daquela.

Na bibliografia consultada sobre velocidades, dada a maioria dos estudos e modelos descritos serem resultado de recolhas de velocidade reais, verifica-se que a definição de velocidade mais utilizada é a do 85 percentil da curva de distribuição cumulativa das velocidades, correspondendo na Norma JAE P3/94 a uma velocidade de tráfego. Assim, no presente capítulo quando se referir indistintamente a designação de velocidade, está-se a fazer uma análise de uma velocidade de tráfego.

3.3.1 – Factores influentes na velocidade

São muitos os factores que influenciam a velocidade adoptada por um condutor, como os raios e o desenvolvimento das curvas em planta, as distâncias de visibilidade, os valores da sobrelevação, o coeficiente de atrito lateral, as condições do pavimento, o tráfego, o veículo, etc.

Segundo Cardoso (1996) os factores com influência relevante na escolha da velocidade por parte de um condutor, podem ser agrupados em cinco conjuntos: o condutor, a estrada, o tráfego, o veículo e a envolvente.

3.3.1.1 – Condutor

Os factores humanos têm sido alvos recentes de diversos estudos. Elvik et al. (1990, citado por Cardoso) divide este conjunto em quatro classes: factores psicológicos e factores fisiológicos, subdividindo-os em curta e longa duração. Como exemplos, apresenta:

- para os factores psicológicos de curta duração os estados emocionais e distrações momentâneas;
- para os factores psicológicos de longa duração a inteligência, personalidade, doenças mentais e grau de conhecimentos do condutor;
- para factores fisiológicos de curta duração a fadiga, utilização de drogas ou álcool e sintomas de doença;

- e para factores fisiológicos de longa duração apresenta o sexo, a idade, os sentidos, deficiências físicas e doenças.

Wasielowski (1984, referido por Cardoso) apresentou um estudo em que verifica que a velocidade média diminui com a idade do condutor de acordo com uma relação linear entre os valores de 76,5 km/h para a idade de 20 anos e 70 km/h para a idade de 72 anos.

Outros estudos indiciam que os condutores do sexo feminino apresentam uma tendência para circular a velocidades médias mais baixas. Neste aspecto, Wasielowski não encontrou diferenças de velocidades entre sexos para condutores da mesma idade, no entanto, realça o facto de condutores que circulam sozinhos apresentarem velocidades médias superiores comparativamente aos que andam acompanhados.

O conhecimento do trajecto e da estrada a percorrer tem influência na velocidade estando relacionados de uma forma positiva. Um outro factor com muita importância na velocidade é o comprimento do trajecto que se pretende realizar e em cada ponto a distância que ainda falta percorrer.

Outros factores com influência na velocidade sintetizados por Rowan et al (1962, citado por Cardoso) têm a ver com o tipo de condução quotidiana em que, condutores que conduzem quase exclusivamente em zonas urbanas são mais lentos que os condutores que habitualmente realizam o atravessamento de zonas urbanas ou percorrem grandes extensões. A influência do ambiente lateral à estrada é também muito importante, nomeadamente o grau de desenvolvimento urbano e a componente comercial, apresentando uma correlação negativa com a velocidade.

Um factor estudado por alguns autores, que em Portugal apresenta um significado acrescido, é o de os condutores nos seus próprios veículos conduzirem a velocidades inferiores à que circulam em veículos de serviço. Outro factor referenciado, é a manutenção de determinada velocidade durante um longo percurso, em que ao fim de algum tempo existe a sensação de diminuição de velocidade, originando que o condutor apresente uma tendência para a sua subavaliação em termos de segurança e aumente progressivamente a velocidade.

3.3.1.2 – Estrada

Logo à partida, a tipologia e a classificação da estrada condiciona a velocidade a que os condutores se predispõem a utilizar. A velocidade base, resultado da classificação da estrada, que presidiu à realização do projecto e consequentemente à definição das suas características geométricas mínimas, associada aos limites legais de velocidade, têm influência imediata no condutor e na velocidade que irá praticar.

A velocidade praticada por um condutor num determinado troço de estrada é resultado da experiência de circulação no troço imediatamente anterior e do cenário que está a ver imediatamente à sua frente.

Existe um consenso alargado de que no traçado em planta o factor mais significativo que influencia a velocidade são as curvas em planta, que obrigam na sua abordagem a uma redução da velocidade. Esta influência é mais importante quanto menor é o raio de curvatura.

Vários estudos indiciam que em termos de velocidades médias, estas encontram-se bastante próximas ou são mesmo superiores às velocidades base para curvas de pequeno raio (para Gambard (1984) este fenómeno é perfeitamente constatável em curvas de raio inferior a 300 metros), e são menores que as velocidades base em curvas de grande raio, dependendo nestes casos das condições de traçado e de pavimento que antecedem a curva.

Na determinação dos raios mínimos em curva, a utilização nas normas de traçado do conceito da velocidade como seu elemento definidor, tem por princípio a utilização de simplificações no estudo da dinâmica do veículo, sendo este reduzido a um elemento rígido ou a um ponto para derivação das equações do movimento, simplificações que segundo Psarianos et al. (1995) podem levar, para certos veículos, a um sub-dimensionamento dos raios mínimos.

Consequência destas simplificações e do desajuste dos valores de alguns parâmetros, determinados, em certos casos, em condições laboratoriais, em épocas em que se

praticavam velocidades mais baixas que as actuais, com veículos menos desenvolvidos e com piores infra-estruturas, McLean (1988) constata a existência de diferenças entre a velocidade de tráfego (V_{85}) em curva e a velocidade de projecto, em que V_{85} é superior à velocidade de projecto para valores desta inferiores a 90 km/h e inferior para valores da velocidade de projecto superiores a 90 km/h.

Para Ottesen et al. (1994) outro elemento que influencia a velocidade em curva é o seu desenvolvimento, em que para um grau de curvatura (ângulo ao centro de uma curva de raio R com um desenvolvimento de 100 pés (13)) superior a 4° ($R < 437$ m) a V_{85} diminui com o aumento do desenvolvimento da curva, verificando-se o contrário para graus de curvatura inferiores a 4°.

$$D = \frac{30,48}{R} * \frac{180}{\pi} = \frac{1746,3754}{R} \quad (13)$$

em que:

D – grau de curvatura em graus

R – raio da curva em planta em metros

Em termos de perfil longitudinal, Lamm et al. (1988) refere que para inclinações inferiores a 6% a velocidade dos veículos ligeiros não é afectada, verificando-se que o efeito da inclinação e comprimento dos traineis exerce-se principalmente na velocidade dos veículos pesados. De referir que esta afirmação é actualmente contrariada pelo actual HCM (Highway Capacity Manual), nomeadamente para estradas rurais de duas vias.

Em termos de perfil transversal os factores mais referenciados como tendo influência na velocidade são o número de vias, a largura das vias, a largura e tipo de revestimento das bermas, a desobstrução lateral, a sobrelevação em curva e a existência ou não de passeios.

Um factor importante é a distância de visibilidade, directamente associado às possibilidades de ultrapassagem, verificando-se uma correlação positiva com a velocidade.

O tipo de pavimento também tem importância na escolha da velocidade, verificando-se uma correlação positiva com a melhoria das características superficiais, nomeadamente a sua

regularidade, quer longitudinal quer transversal, e com a diminuição das vibrações e ruídos de rolamento.

O número de entradas e saídas da estrada e a sua acessibilidade lateral também tem a sua influência, assim como a colocação de delineadores. Estes originam uma diminuição do desvio padrão das velocidades e um aumento da velocidade média nocturna.

3.3.1.3 – Tráfego

A velocidade de circulação está fortemente relacionada com o volume de tráfego. Existe a opinião mais ou menos generalizada que, em estradas rurais de duas vias, para volumes inferiores a 200 veículos/hora nos dois sentidos, a velocidade não é afectada pelo tráfego. Num diagrama de distribuição cumulativa de velocidades de uma secção de estrada, Gallin (1981) constatou que o volume de tráfego só interfere na correspondente V_{85} , não sendo significativa a sua influência na V_{50} e na V_{95} , velocidades para as quais é mais importante a existência de veículos pesados.

Pursula et al. (1991), citado por Cardoso (1996), refere que em estradas com limite de velocidade de 100 km/h a velocidade de circulação média, em regime livre, encontra-se entre 87 e 92 km/h, diminuindo de 4 a 6 km/h por cada aumento de 1000 veículos/hora. De igual forma para estradas com limite de velocidade de 80 km/h a velocidade média situa-se entre os 75 e 85 km/h, decrescendo de 2 a 8 km/h, também por cada acréscimo de 1000 veículos/hora. Neste estudo, o tempo de espaçamento limite utilizado para a definição de velocidade em regime livre foi de 5 segundos.

A definição do espaçamento mínimo que permita determinar que um veículo circula à velocidade pretendida sem constrangimentos, denominada velocidade livre, varia de autor para autor. Pursula considerou os 5 segundos já referidos, Wasielewski (1984) considera o tempo de espaçamento mínimo de 4 segundos, por sua vez Lamm et al. (1991) acha necessário a existência de um intervalo de 6 segundos. Zegeer et al. (1991) utilizou o tempo de 9 segundos para a mesma definição.

Relativamente à constituição do tráfego, a percentagem de veículos pesados é o elemento principal a considerar. Este factor começa a ter significado para volumes de tráfego superiores a 200 veículos/hora, ou em situações de circulação em que o número de veículos pesados têm um peso superior a 40% da totalidade do tráfego.

3.3.1.4 – Veículo

Relativamente aos veículos, utilizando a classificação tradicional de divisão dos veículos em ligeiros, pesados de passageiros e pesados de mercadoria, existem diferenças de velocidade de circulação entre estas classes, sendo os veículos ligeiros aqueles que apresentam a velocidade média de circulação mais elevada e os pesados de mercadoria os que têm a velocidade média de circulação mais baixa.

Um factor importante na velocidade de circulação, ao nível dos veículos ligeiros, é a idade do veículo. Com a evolução existente ao nível de potência dos motores com melhores regimes de aceleração, utilização intensiva da informática ao nível de sistemas de apoio à condução e estabilidade do veículo, melhor trabalho das suspensões, maior segurança activa e passiva dos automóveis, melhor insonorização do motor e do ruído de rolamento e menores consumos, as velocidades praticadas em veículos novos são superiores às dos veículos mais antigos.

3.3.1.5 – Envolvente

Das classes apresentadas de factores influenciáveis na velocidade, os ligados à envolvente da estrada são aqueles que apresentam mais dificuldade de tratamento e quantificação, e como tal são os que têm sido menos estudados.

Existem em alguns estudos referências sobre a influência do dia e da noite sobre as velocidades, verificando-se ser a velocidade média diurna ligeiramente superior à nocturna. O desvio padrão de velocidades é, no entanto, para as velocidades nocturnas superior, devido há existência de um maior número de condutores a circularem a muito alta velocidade.

As condições atmosféricas interferem ao nível das condições de visibilidade e do estado do pavimento. Segundo Galin (1981) a situação de pavimento molhado leva a uma redução da velocidade média até 7 km/h.

As condições de iluminação de uma via também apresentam interferência com as velocidades de circulação, existindo uma correlação positiva entre ambas.

Por seu lado, a velocidade influencia a percepção do condutor do seu meio ambiente e a sua capacidade de decisão. Com o aumento da velocidade o campo de visão do condutor é alterado, aumenta o seu comprimento e diminui a sua largura. Como consequência o ponto de focalização do condutor é cada vez mais distante levando a uma diferente percepção dos objectos.

3.3.2 – Modelos de determinação de velocidades

Diferentes metodologias foram desenvolvidas para a determinação da velocidade em alinhamentos horizontais de estradas rurais de duas vias, utilizando-se meios de análise a duas dimensões.

Para a determinação do valor da velocidade V_{85} de um troço de estrada, Lamm et al. (1986) sugeriu a utilização do que designou por taxa de variação angular (curvature change range, CCR), definindo-o como a soma absoluta dos ângulos de desvio dos alinhamentos rectos por unidade de comprimento da estrada sendo expresso, em unidades métricas, pela expressão:

$$CCR = \frac{57.3}{L_t} \left(\sum_i \frac{L_{ci}}{R_i} + \sum_j \frac{L_j}{2R_i} \right) \quad (14)$$

onde:

CCR = taxa de variação angular (graus / km)

L_{ci} = desenvolvimento da curva circular i (m)

L_j = desenvolvimento da curva de transição j (m)

R_i = raio da curva circular i (m)

L_t = extensão total do troço em estudo (m)

Utilizando modelos de regressão linear, Lamm e Choueiri (1987), estabeleceram, para diferentes larguras de vias, relações de cálculo de V_{85} função de CCR. Como exemplo, para uma via de 3.65m de largura e baseado em dados recolhidos em 84 secções curvas, os modelos estimados para V_{85} função do CCR ou do raio horizontal da curva (R) são:

$$V_{85} = 95.780 - 0.076CCR , \quad (R^2 = 0.84) \quad (15)$$

$$V_{85} = 96.152 - \frac{2803.769}{R} , \quad (R^2 = 0.82) \quad (16)$$

A relação entre V_{85} e as características horizontais em curva continuaram a ser desenvolvidas por Lamm et al. (1990), que baseado agora em dados de 322 secções curvas, confirmou que o parâmetro que mais afecta a velocidade é o raio da curva em planta, tendo a relação entre V_{85} e o raio da curva (15), combinada para todas as larguras de vias, evoluído para:

$$V_{85} = 94.398 - \frac{3188.656}{R} , \quad (R^2 = 0.79) \quad (17)$$

Em simultâneo, o mesmo autor apresentou um modelo, função da velocidade recomendada por sinalização vertical (RS, em km/h), cuja expressão combinada para todas as larguras de vias é:

$$V_{85} = 40.74 + 0.8916RS , \quad (R^2 = 0.78) \quad (18)$$

Lamm et al. ainda desenvolveu e apresentou um modelo para determinação de V_{85} em curva função em simultâneo do raio (R, em metros), da largura da faixa de rodagem (A, em metros), da largura da berma (B, em metros) e do volume de tráfego médio diário (TMD, em veículos), dado pela expressão:

$$V_{85} = 55.84 - \frac{2824.505}{R} + 10.99A + 0.92B + 0.0006437TMD, \quad (R^2 = 0.84) \quad (19)$$

Sendo de referir o facto de neste modelo a velocidade apresentar uma correlação positiva com o TMD, o que leva a pressupor que estradas de grande TMD apresentarão condições de circulação a maiores velocidades.

Na Grécia, na Universidade Técnica de Atenas, o estudo da velocidade em alinhamentos horizontais de estradas de duas vias, foi desenvolvido por Kanellaidis et al. (1990). O conceito de velocidade foi considerado como um elemento básico e fundamental no projecto de elementos geométricos individuais de uma estrada e, a análise da sua variação como meio de se poder alcançar a homogeneidade entre esses mesmos elementos. Baseado em dados de 58 curvas e respectivas rectas adjacentes, estudou relações entre a velocidade em curva e os respectivos parâmetros geométricos, dos quais resultaram as seguintes expressões:

$$V_{85} = 129.88 - \frac{623.1}{\sqrt{R}}, \quad (R^2 = 0.78) \quad (20)$$

$$V_{85} = 32.2 + \frac{2226.9}{R} - \frac{533.6}{\sqrt{R}} + 0.8393V_r, \quad (R^2 = 0.93) \quad (21)$$

em que V_r corresponde à velocidade livre na recta adjacente à curva, correspondente ao respectivo percentil (km/h).

Deve-se notar que os modelos desenvolvidos por Lamm (14) a (16) estão limitados somente a elementos de estrada com velocidades máximas no intervalo de 94 – 96km/h, enquanto que o modelo de Kanellaidis apresenta um maior potencial pois a velocidade máxima pode atingir os 129km/h.

Para explicação destes limites máximos, pode não ser indiferente o tipo de fiscalização e cumprimento dos condutores dos limites legais de velocidade, dado estar-se a fazer uma análise comparativa entre um estudo realizado na Grécia e de um modelo resultante de um estudo realizado nas estradas rurais do estado de Nova York.

Islam e Seneviratne (1994), em estudo efectuado em estradas rurais de duas vias no nordeste do Utah, também reafirmam que o raio da curva (grau de curvatura) é o parâmetro mais importante da predição da velocidade em curvas horizontais. Ao estudarem as variações da velocidade ao longo das curvas horizontais, concluíram que existem diferenças significativas da velocidade entre o ponto de entrada na curva (PC), o ponto médio (MC), e o ponto de saída da curva (PT), tendo apresentado as seguintes relações função do grau de curvatura, baseadas em dados recolhidos em oito locais em curva:

$$V_{85} = 95.41 - 1.48D - 0.012D^2, \quad (R^2 = 0.99) \quad (PC) \quad (22)$$

$$V_{85} = 103.03 - 2.41D - 0.029D^2, \quad (R^2 = 0.98) \quad (MC) \quad (23)$$

$$V_{85} = 96.11 - 1.07D, \quad (R^2 = 0.98) \quad (PT) \quad (24)$$

Baseado nestes modelos, concluem que a diferença de V_{85} em PC, MC e PT aumentam gradualmente com o crescimento do grau de curvatura, realçando que para valores do grau de curvatura superiores a 8°, correspondente a curvas com raios inferiores a 218m, começam a resultar casos com problemas de grandes variações de velocidades e consequentemente problemas de homogeneidade de velocidade durante o desenvolvimento da curva.

Pelo facto de entre os modelos analisados, este ser o único que apresenta um estudo sobre a variação de velocidade ao longo da curva, apresenta-se no Quadro 7 o resultado da aplicação do formulário proposto a vários graus de curvatura. O resultado destes modelos apresentam alguns valores, que à partida, parecem de difícil explicação:

- para graus de curvatura inferiores ou iguais a 4° constata-se que o maior valor da velocidade se verifica no ponto médio da curva, o que não será muito normal;
- para graus de curvatura entre 4° e 8°, inclusive, a velocidade de entrada da curva mantém-se praticamente inalterada até ao ponto médio da curva, tomando-se superior no ponto de saída;
- para graus de curvatura superiores a 8° a velocidade diminui desde o ponto de entrada até ao ponto médio, voltando posteriormente a crescer até ao ponto de saída;

- deve ser referido o facto destas expressões apresentarem um valor elevado para R^2 que é usualmente anormal quando se trata de modelos empíricos. Tais valores elevados podem ser resultado do pequeno número de dados usados no seu desenvolvimento (dados de somente 8 curvas).

Quadro 7 - Modelo de Islam e Seneviratne

D (°)	R (m)	PC (km/h)	MC (km/h)	PT (km/h)	MC-PC (km/h)	PT-MC (km/h)	PT-PC (km/h)
1	1746	93.9	100.6	95.0	6.7	-5.6	1.1
2	873	92.4	98.1	94.0	5.7	-4.1	1.6
3	582	90.9	95.5	92.9	4.6	-2.6	2.0
4	437	89.3	92.9	91.8	3.6	-1.1	2.5
5	349	87.7	90.3	90.8	2.5	0.5	3.0
6	291	86.1	87.5	89.7	1.4	2.2	3.6
7	249	84.5	84.7	88.6	0.2	3.9	4.2
8	218	82.8	81.9	87.6	-0.9	5.7	4.8
9	194	81.1	79.0	86.5	-2.1	7.5	5.4
10	175	79.4	76.0	85.4	-3.4	9.4	6.0
11	159	77.7	73.0	84.3	-4.7	11.3	6.7
12	146	75.9	69.9	83.3	-6.0	13.3	7.4
13	134	74.1	66.8	82.2	-7.3	15.4	8.1
14	125	72.3	63.6	81.1	-8.7	17.5	8.8

Verifica-se na aplicação deste modelo que a velocidade à saída da curva é sempre superior à velocidade de entrada, crescendo este diferencial com a diminuição do raio da curva.

Por sua vez, Krammes et al. (1994,1995), desenvolveu nos EUA, um modelo para cálculo da V_{85} em vários pontos de um traçado, para desenvolvimento de um perfil de velocidades, que permitisse avaliar a homogeneidade de velocidades em estradas rurais de duas vias.

Refira-se que, para a realização deste perfil de velocidades baseou-se nos seguintes pressupostos:

- V_{85} em curva é função da geometria da mesma;
- a velocidade é constante ao longo da curva horizontal;
- V_{85} no alinhamento recto é baseado em dados de velocidade;
- aceleração e desaceleração acontece somente em alinhamento recto e com um valor de 0.85m/s^2 (Lamm et al. 1988).

A equação para a determinação de V_{85} em curva, com base em dados recolhidos em 138 curvas, apresentada é a seguinte:

$$V_{85} = 102.4 - 1.57D + 0.012L_c - 0.10\Delta, \quad (R^2 = 0.82) \quad (25)$$

onde:

D – grau de curvatura (graus)

L_c – comprimento da curva (m)

Δ - ângulo de desvio (graus)

ou, escrevendo-se a equação em função do raio da curva circular:

$$V_{85} = 102.4 - \frac{2741.809}{R} + 0.012L_c - \frac{5.7296L_c}{R}, \quad (R^2 = 0.82) \quad (26)$$

Num outro estudo, McFadden e Elefteriadou (1997) estabeleceram dois modelos para determinação da velocidade em curva que foram baseados em dados de velocidade recolhidos em 78 secções em curva:

$$V_{85} = 103.66 - 1.95D, \quad (R^2 = 0.80) \quad (27)$$

$$V_{85} = 41.62 - 1.29D + 0.049L_c - 0.12\Delta + 0.95V_t, \quad (R^2 = 0.90) \quad (28)$$

onde:

D – grau de curvatura (graus)

L_c – comprimento da curva (m)

Δ - ângulo de desvio (graus)

V_t – velocidade específica no alimento recto que antecede a curva (km/h)

ou, escrevendo-se em função do raio da curva circular:

$$V_{85} = 103.6 - \frac{3405.432}{R}, \quad (R^2 = 0.80) \quad (29)$$

$$V_{85} = 41.62 - \frac{2252.824}{R} + 0.049L_c - \frac{6.8755L_c}{R} + 0.95V_t, \quad (R^2 = 0.90) \quad (30)$$

Os modelos (25) e (30) podem apresentar uma deficiência estatística, pois a utilização de variáveis em que existe correlação na construção do modelo (como são os casos do grau de curvatura (D), o comprimento da curva (L_c), e o ângulo de deflexão (Δ)), pode levar a um aumento de R^2 (Johnson e Wichem, 1982).

Os modelos apresentados são alguns dos mais recentes que foram desenvolvidos. Outros modelos anteriores foram apresentados por investigadores como McLean em 1979 na Austrália (no Australian Road Research Board), por Lindenmann em 1978/79 na Suíça (na revisão das normas suíças de projecto de estradas), por Glennon em 1985 nos EUA, por Gambard também em 1985 em França, por Talarico em 1993 no Canadá (modelo só válido para velocidades entre 90 km/h e 100 km/h), entre outros.

3.3.3 – Modelos de velocidades desenvolvidos em Portugal

Cardoso (1996), realizou um estudo em Portugal, sobre o comportamento do condutor em função das características de traçado da estrada, que incidiu de forma particular sobre a distribuição de velocidades de circulação não impedida e na influência exercida pela curvatura em planta sobre a velocidade. Por questões de planeamento e execução de trabalhos este estudo limitou-se à zona Sul do País, mas pretende ser representativo da realidade nacional.

Este estudo torna-se interessante pelo facto, não só de retratar directamente a realidade portuguesa, mas também pelo desenvolvimento próprio do estudo, em que na caracterização dos factores com influência na determinação de velocidades interferem, não só elementos do traçado em planta, longitudinais e transversais, como elementos respeitantes ao perfil longitudinal, tomando a análise efectuada um estudo em três dimensões.

Para a sua concretização foram efectuadas, em 1994/95, medições de velocidade, tempos de espaçamento e fluxos de tráfego, em 59 secções em curva e 37 secções em recta de estradas rurais de duas vias. Quando das medições em curva foram realizadas, em simultâneo, medições na recta que a precedia por forma a ser possível a avaliação do comportamento dos condutores na aproximação à curva.

O principal critério de selecção dos locais de medição de velocidades teve por base serem estradas da rede rodoviária nacional, única em que existe recenseamento de tráfego, serem estradas de faixa única de duas vias com bermas não pavimentadas, e serem estradas abertas a todo o tipo de tráfego e sem controlo de acessos. Este tipo de estradas é também o que mais se aproxima da maioria da rede sob administração municipal, para a qual se pode extrapolar os resultados do estudo.

Outro critério de selecção foi o da escolha de estradas com tráfegos médios diários baixos ou, excepcionalmente, médios, por forma a que o estudo das velocidades não impedidas possa ser efectivo. Assim na maioria dos casos em estudo, o tráfego médio diário foi inferior a 5000 veículos, só raramente ultrapassados e limitados de forma absoluta aos 8500 veículos. Nenhum dos locais escolhidos se situou em lanços com vias adicionais assim como existiu a preocupação que os locais em estudo não apresentassem descontinuidades de perfil transversal e fossem dotados de marca rodoviária central visível.

Neste estudo, em termos de elementos de traçado, em cada um dos locais foram referenciadas:

- características locais, que têm influência eminentemente local;
- características globais que representam características médias do traçado da estrada imediatamente antes do local de medição e como tal, dependentes do sentido de observação.

Como características locais, foram medidos:

nos segmentos curvos:

- raio de curvatura (m) - R ;
- sobrelevação (%) - $sobrelev$;
- comprimento do segmento curvo (m) - L ;

nos segmentos rectos foram medidos:

- comprimentos do segmento recto (m) - L ;

independentemente do tipo de segmento foram medidos:

- inclinação longitudinal (%) - $intele$;
- largura da faixa de rodagem (m) - $lfaixa$;
- largura da berma esquerda e direita (m) - $bermesq$ e $bermdir$;
- largura total das bermas (m) - $lberma$;
- largura pavimentada (m) - $lpav$, definida como a soma das larguras pavimentadas, faixa de rodagem e bermas, caso sejam pavimentadas.

Como características globais, calculadas pela média aritmética dos valores verificados com espaçamento de 10 metros nos 500 metros que antecedem o local em estudo, foram medidos:

- largura média da faixa no sentido 1 (m) - $lfaixa1 = \frac{\sum_{i=1}^{50} (largura_de_faixa)_i}{50}$;
- largura média da berma esquerda no sentido 1 (m) - $beresq1 = \frac{\sum_{i=1}^{50} (larg_de_berma_esq)_i}{50}$;
- largura média da berma direita no sentido 1 (m) - $berdir1 = \frac{\sum_{i=1}^{50} (larg_de_berma_dir)_i}{50}$;
- densidade de cruzamentos no sentido 1 (número/quilómetro) - $dscr1 = 2x \sum_{i=1}^{50} (núm_de_cruz)_i$;
- subida média no sentido 1 (m/km) - $sub1 = 2x \sum_{i=1}^{50} (\Delta cota_i)$ para $\Delta cota_i > 0$;

- descida média no sentido 1 (m/km) - $desc1 = 2x \sum_{i=1}^{50} (\Delta cota_i)$ para $\Delta cota_i < 0$;
- inclinação média no sentido 1 (%) - $inlm1 = 100x \frac{\sum_{i=1}^{50} \Delta cota_i}{500}$;
- declividade agregada no sentido 1 (m/km) - $decl1 = 2x \sum_{i=1}^{50} |\Delta cota_i|$;
- curvatura média no sentido 1 (graus/km) - $cmj1 = \frac{2x180}{\pi} \sum_{i=1}^{50} \left(\frac{10}{raio_i} \right)$;
- curvatura média ponderada no sentido 1 (m/m^{1.5} por km) - $cmpj1 = 2x \sum_{i=1}^{50} \left(\frac{10}{raio_i} x \frac{1}{\sqrt{raio_i}} \right)$;
- largura total de bermas (m) - $lberma1$;
- largura pavimentada (m) - $lpav1$;
- distância de visibilidade mínima no sentido 1 (m) - $dvmin1$;
- distância entre a zona de medição da velocidade em recta e o início do segmento recto, no sentido 1 - $di1$.

Em termos de parâmetros inerentes ao condutor foi recolhida informação sobre:

- o sentido de circulação;
- o tipo de veículo (que neste estudo foi dividido em cinco classes: veículos de duas rodas, veículos ligeiros, veículos pesados de passageiros, veículos pesados de mercadorias e veículos pesados não identificáveis);
- o tempo de espaçamento (no estudo foi tomado como elemento base o tempo de espaçamento mínimo 6 segundos, por forma a garantir que a velocidade escolhida por um condutor não seria condicionada pela velocidade nem do veículo precedente nem do seguinte);
- velocidade de circulação no segmento recto;
- velocidade de circulação no segmento curvo;
- a diferença entre a velocidade de circulação medida em curva e medida em recta.

As distribuições de velocidades obtidas foram desagregadas em duas classes:

- distribuições correspondentes ao total de veículos;
- distribuições relativas somente aos veículos ligeiros.

O número de veículos de duas rodas e de veículos pesados não foram suficientes para permitir uma análise da respectiva classe.

No estudo verificou-se que, em média, a dispersão de velocidades é significativamente maior (nível de confiança de 95%) em recta do que em curva, verificando-se tal facto, quer para a totalidade dos veículos, quer só para os veículos ligeiros.

Por outro lado, verificou-se a existência de uma relação aproximadamente linear entre a velocidade média (v_r ou v_c consoante seja em recta ou em curva) e o respectivo desvio padrão (σ).

Para a totalidade dos veículos:

$$\sigma_{recta} = 0.212v_r \quad R^2 = 0.60 \quad (31)$$

$$\sigma_{curva} = 0.207v_c \quad R^2 = 0.81 \quad (32)$$

Para os veículos ligeiros:

$$\sigma_{recta} = 0.196v_r \quad R^2 = 0.64 \quad (33)$$

$$\sigma_{curva} = 0.186v_c \quad R^2 = 0.84 \quad (34)$$

Em todas as secções foram calculados os 10º, 15º, 50º, 85º, 90º percentis das distribuições cumulativas de velocidade. Os dois primeiros percentis para representação dos condutores mais lentos e os dois últimos associados aos condutores mais rápidos.

No desenvolvimento dos modelos de relações entre as características da estrada e os percentis da distribuição de velocidades foram consideradas duas classes de tipologia de traçado:

- os trechos rectos, ou equiparáveis;
- e os trechos com curvatura horizontal predominante.

De forma análoga a outros modelos, desenvolvidos no estrangeiro, para a velocidade em recta foram desenvolvidos modelos lineares, em que foi usada a técnica da regressão linear

múltipla passo a passo, e para a velocidade em curva, modelos não lineares em que foi empregue a técnica da regressão múltipla não linear.

3.3.3.1 – Modelos de estimativa de velocidade em recta

Como referido, neste trabalho é apresentado, quer para a totalidade dos veículos, quer só para os veículos ligeiros, modelos para os percentis de 10º, 15º, 85º, 90º, das distribuições de velocidades instantâneas, bem como para a velocidade média.

Para a totalidade dos veículos verifica-se a seguinte hierarquização de variáveis segundo o seu grau de importância, para os vários percentis de velocidade:

- 10º percentil: declividade média agregada, largura da faixa de rodagem, inclinação longitudinal média;
- 15º, 85º e 90º percentis: curvatura média, comprimento do trecho recto, largura local da faixa de rodagem;
- velocidade média: curvatura média, largura global da faixa de rodagem, comprimento do trecho recto.

De igual modo, para os veículos ligeiros verifica-se a seguinte hierarquização de variáveis segundo o seu grau de importância, para os vários percentis de velocidade:

- 10º, 15º percentis: declividade média agregada, largura local da faixa de rodagem, curvatura média ponderada;
- velocidade média: curvatura média, largura global da faixa de rodagem, comprimento do trecho recto;
- 85º, 90º percentis: curvatura média, comprimento do trecho recto, largura local da faixa de rodagem.

Estes modelos consideram que, dado não serem expectáveis variações de velocidade máxima em trechos rectos a partir dos 2000 metros de extensão, o valor da variável correspondente ao comprimento total do trecho recto foi limitado ao valor de 2000 metros.

- No estudo são apresentadas e desenvolvidas três tipos de equações para as velocidades desejadas em recta, para o 10º e 15º percentis da distribuição de

velocidades para a totalidade dos veículos, para o 10º e 15º percentis da distribuição de velocidade dos veículos ligeiros e, para a velocidade média e os 85º e 90º percentis da distribuição de velocidades, apresentando esta última equação o seguinte desenvolvimento:

$$V_{i\%} = C^{te} + b_1 * cmj1 + b_2 * L + b_3 * decl1 + b_4 * lfaixa1 + b_5 * lberma1 \quad (35)$$

Assim, para a totalidade dos veículos, após a determinação dos coeficientes de regressão dos modelos escolhidos, a expressão de velocidade de circulação livre em recta dos condutores para o 85 percentil é dada por:

$$V_{85} = 37.146 - 0.04550cmj1 + 0.01009L - 0.19080decl1 + 9.0898lfaixa1 + 1.8999lberma1 \quad (R^2=0.71) \quad (36)$$

de igual forma, para os veículos ligeiros:

$$V_{85} = 30.722 - 0.04441cmj1 + 0.01093L - 0.24354decl1 + 10.5470lfaixa1 + 1.8200lberma1 \quad (R^2=0.75) \quad (37)$$

Nestes modelos de determinação da velocidade em recta verifica-se que a principal influência sobre a velocidade dos veículos são as características globais do traçado, realçando-se que em rectas muito extensas pode existir uma diminuição de memória do traçado anteriormente percorrido.

3.3.3.2 – Modelos de estimativa de velocidade em curva

Neste estudo, à semelhança do que foi desenvolvido para a determinação da velocidade em recta, foram estudados os percentis de 10º, 15º, 85º, 95º e velocidade média da distribuição de velocidades em curva. Para o desenvolvimento destes modelos foram criadas as variáveis auxiliares $\frac{1}{\sqrt{R}}$; $\frac{1}{R}$; $\frac{1}{R^2}$.

Quer para a totalidade dos veículos, quer só para os veículos ligeiros, em todos os percentis analisados o principal parâmetro que influencia a velocidade em curva foi o inverso da raiz

quadrada do raio da curva ($1/\sqrt{R}$), seguindo-se a velocidade na recta que precede a curva, correspondente ao mesmo percentil de estudo. O terceiro parâmetro mais influente foi o desenvolvimento da curva, com excepção do 10º e 15º percentis da análise dos veículos ligeiros em que aparece nesta posição a influência da largura da faixa de rodagem.

Ao contrário dos alinhamentos rectos, para ambas as classes de veículos estudadas, nas curvas não foi verificada grande influencia dos factores relacionados com as características globais da estrada, a não ser a influencia destas no termo respeitante à velocidade em recta.

As regressões não lineares foram feitas para equações do tipo:

$$V_{curva,n\%} = C^{te} + \frac{a_1}{\sqrt{R}} + a_2 V_{recta,n\%} + a_3 l_{faixa} + \frac{a_4}{R} + \frac{a_5}{R^2} + a_6 R + a_7 L \quad (38)$$

Para a totalidade dos veículos, após a determinação dos coeficientes das equações de regressão, o 85 percentil da distribuição de velocidades em curva é traduzido pela expressão:

$$V_{curva,85} = 61.849 - \frac{435.322}{\sqrt{R}} + 0.35167 V_{recta,n\%} + 3.0560 l_{faixa} + \frac{7938.99}{R^2} + 0.02207 L \quad (R^2=0.92) \quad (39)$$

de igual forma para os veículos ligeiros:

$$V_{curva,85} = 58.400 - \frac{434.00}{\sqrt{R}} + 0.35900 V_{recta,n\%} + 3.5600 l_{faixa} + \frac{7225.00}{R^2} + 0.02500 L \quad (R^2=0.92) \quad (40)$$

No quadro 8 e figura 3 está representada uma análise comparativa da variação da velocidade em curva circular, determinada por vários dos modelos anteriormente propostos, no caso concreto aqueles que são função unicamente do raio da curva circular, com o modelo agora apresentado de Cardoso para a situação da totalidade dos veículos e com os valores da velocidade específica definidos na Norma P3/94.

Quadro 8 – Comparação de modelos de velocidade em curva com as velocidades específicas definidas na Norma P3/94

Raio	P3/94	Lamm (4)	Kanellaidis (7)	McFadden (20)	Cardoso (A)	Cardoso (B)
120	60	67.8	73.0	75.2	77.9	70.0
180	70	76.7	83.4	84.7	84.9	77.0
210	75	79.2	86.9	87.4	87.2	79.4
240	80	81.1	89.7	89.4	89.1	81.2
280	85	83.0	92.6	91.4	91.2	83.3
320	90	84.4	95.0	93.0	92.8	85.0
370	95	85.8	97.5	94.4	94.5	86.6
420	100	86.8	99.5	95.5	95.9	88.0
470	105	87.6	101.1	96.4	97.0	89.2
530	110	88.4	102.8	97.2	98.2	90.3
580	115	88.9	104.0	97.7	99.0	91.2
620	120	89.3	104.9	98.1	99.6	91.7

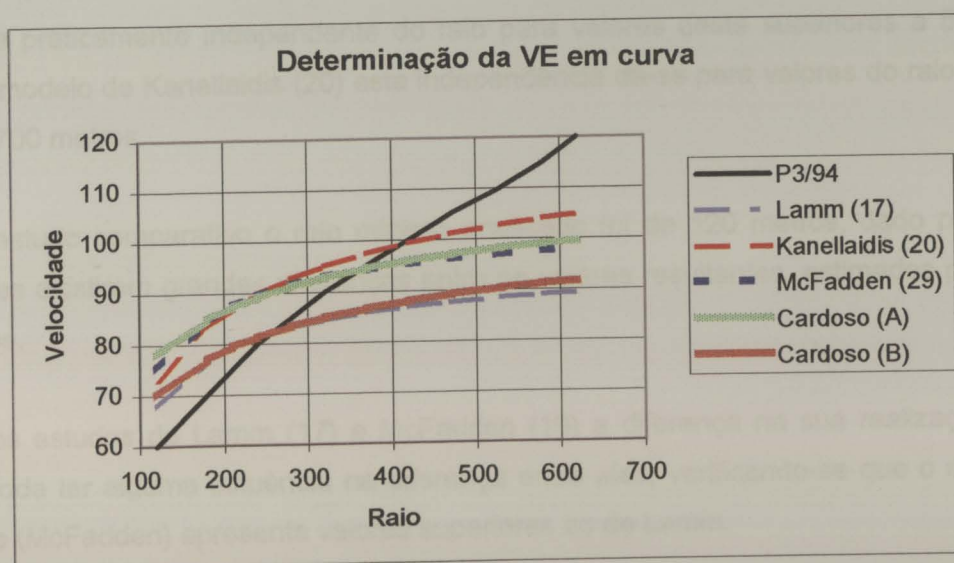


Figura 3 – Comparação entre modelos de velocidade em curva e as velocidades específicas definidas na Norma P3/94

Relativamente ao modelo agora apresentado foram consideradas as seguintes situações:

Cardoso (A):

- velocidade de aproximação em recta de 90 km/h;
- largura da faixa de rodagem de 7 m;
- comprimento da curva de 100 m.

Cardoso (B):

- velocidade de aproximação em recta de 70 km/h;
- largura da faixa de rodagem de 6 m;
- comprimento da curva de 200 m.

Logo à partida existem factores que podem influenciar a diferença de valores entre modelos, que vão desde a diferença de populações de condutores, às diferentes metodologias de recolha e tratamento de dados e de modelação, passando pela já referida diferença de datas de execução dos estudos, etc.

Numa primeira abordagem, unicamente sobre o desenvolvimento das curvas, verifica-se para os modelos de Lamm (17) e McFadden (29) e Cardoso (A) e (B), que a velocidade torna-se praticamente independente do raio para valores deste superiores a 500 metros. Para o modelo de Kanellaidis (20) esta independência dá-se para valores do raio superiores a 600–700 metros.

Neste estudo comparativo o raio mínimo analisado foi de 120 metros, dado para valores inferiores existirem grandes diferenças entre os valores resultantes, estimados pelos vários modelos.

Entre os estudos de Lamm (17) e McFadden (19) a diferença na sua realização de sete anos pode ter alguma influência na diferença entre eles, verificando-se que o estudo mais recente (McFadden) apresenta valores superiores ao de Lamm.

Verifica-se neste estudo comparativo que o modelo apresentado por Cardoso, nos pressupostos escolhidos para (A), se encontra quase coincidente com o modelo de

McFadden (29) para valores de raios superiores a 200 m, enquanto que a hipótese de Cardoso (B) se encontra muito próximo dos valores do modelo de Lamm (17).

Cardoso (A), para raios inferiores a 250 m, consequência da elevada velocidade em recta é, de entre todas as curvas, a que apresenta os valores mais elevados, situação que se altera com Cardoso (B).

É importante nesta análise comparativa a verificação que a curva de velocidades resultante dos valores da Norma P3/94 para as velocidades específicas resultante apresenta, para a gama de raios estudados, um crescimento quase linear, verificando-se que, para valores de raios superiores a 300/400 metros apresenta valores superiores aos V_{85} dos modelos comparados, verificando-se o contrário para valores inferiores dos raios.

Tendo em atenção que a velocidade específica é calculada tendo por base critérios de segurança, esta análise vem realçar o facto de para curvas de pequeno raio se constatar que os condutores assumem um maior risco em termos de segurança e circulam a velocidades superiores à velocidade específica, verificando-se para raios superiores precisamente o factor inverso.

Outra ilação que se retira é a existência de uma tendência natural dos condutores para uniformizarem a velocidade praticada em curva, circulando a velocidades diferentes da que o raio permite em termos de segurança, reforçando a importância da existência de homogeneidade entre os raios das curvas em planta ao longo do traçado de uma estrada.

Também são neste sentido as conclusões apresentadas por Fitzpatrick et al. (1997) que estudaram a relação entre V_{85} e velocidade base (VB) em estradas rurais de duas vias e encontraram que a V_{85} é menor que a VB em todas as curvas com $VB > 70$ km/h, e maior que a velocidade base para a maioria das curvas cuja $VB < 70$ km/h. Também concluíram que quando V_{85} é superior à velocidade base, aparece nesse local uma condição de inconsistência de velocidade, resultando isto do facto de alguns parâmetros geométricos de traçado serem calculados com base em valores mínimos de segurança de acordo com a velocidade base.

3.3.3.3 – Quadros para cálculo da V85

Nos quadros 9 a 12 são apresentados, para o 85 percentil das distribuições de velocidade dos modelos apresentados por Cardoso (1996), quer para o caso da velocidade em recta como a velocidade em curva, quer para a totalidade dos veículos como só para a classe de veículos ligeiros, os valores dos vários termos que integram as respectivas expressões para uma gama de valores de cada uma das variáveis. Com este desdobramento pode-se aquilatar do peso da variação de cada uma das variáveis na determinação das velocidades, de uma forma independente.

No cálculo da velocidade em recta, realça-se a importância da largura da faixa de rodagem, em que, quer para a totalidade dos veículos, quer só para os veículos ligeiros, o aumento de 1 m de largura de faixa de rodagem origina um acréscimo, de velocidade em recta, de cerca de 10km/h.

Estes modelos permite também verificar a importância da extensão dos alinhamentos rectos na velocidade praticada e avaliar a variação da velocidade ao longo do alinhamento recto. Além do aumento da velocidade com a extensão do alinhamento recto ainda se sobrepõe o facto de no seu início existir a influência da curvatura média do troço que o antecede com valor negativo, mas que perde a sua importância com o aumento da extensão do alinhamento, tornando-se, neste modelo, nula a partir dos 500 metros.

Deve ser igualmente dado relevo à importância da declividade agregada no valor final da velocidade e o facto de ser tomada em módulo, portanto independente de se tratar de uma descida ou de uma subida.

Numa análise entre a totalidade dos veículos e os veículos ligeiros, verifica-se para a velocidade em recta uma semelhança de valores entre os parâmetros da curvatura média, comprimento do alinhamento e da largura da berma, verificando-se alterações significativas para a declividade agregada e para a largura da faixa de rodagem, existindo uma maior influência destes parâmetros para os veículos ligeiros.

No cálculo das velocidade em curva, independentemente do estudo para a totalidade dos veículos ou de só para os veículos ligeiros, o principal parâmetro influente na determinação

da velocidade, é sem dúvida o raio da curva, tornando-se a sua importância ainda mais evidente quanto mais pequeno é o valor do raio.

O outro factor importante e que estes modelos permitem que seja realçado é a influência da velocidade em curva da velocidade praticada no alinhamento que a antecede. Para curvas de igual raio, quanto maior for a velocidade na recta que a antecede, maior é a velocidade de circulação em curva. Esta observação permite que se retire ilações sobre a importância de não se dever permitir a prática de velocidades elevadas em alinhamentos que antecedem curvas de pequeno raio.

Contrariamente aos alinhamentos rectos, mas de acordo com o expectável, verifica-se agora que a variação da largura da faixa de rodagem deixa de ter grande relevância. Igualmente se verifica que em curva existe uma maior indiferença das velocidades da classe de veículos observada, constatando-se uma similitude de valores entre a totalidade dos veículos e os veículos ligeiros.

Quadro 9 – V₈₅ em recta para a totalidade dos veículos

Totalidade dos veículos										
V85=37.146-0.04550cmj1+0.01009L-0.19080decl1+9.0898lfaixa1+1.8999lberma1										
Constante	cmj1	veloc	L	veloc	decl1	veloc	lfaixa1	veloc	lberma1	veloc
(km/h)	(%/km)	(km/h)	(m)	(km/h)	(m/km)	(km/h)	(m)	(km/h)	(m)	(km/h)
37.146	0	0.000	0	0.000	0	0.000	5	45.449	0	0.000
	10	-0.455	100	1.009	5	-0.954	5.25	47.721	0.5	0.950
	20	-0.910	200	2.018	10	-1.908	5.5	49.994	1	1.900
	30	-1.365	300	3.027	15	-2.862	5.75	52.266	1.5	2.850
	40	-1.820	400	4.036	20	-3.816	6	54.539	2	3.800
	50	-2.275	500	5.045	25	-4.770	6.25	56.811	2.5	4.750
	60	-2.730	600	6.054	30	-5.724	6.5	59.084	3	5.700
	70	-3.185	700	7.063	35	-6.678	6.75	61.356	3.5	6.650
	80	-3.640	800	8.072	40	-7.632	7	63.629	4	7.600
	90	-4.095	900	9.081	45	-8.586	7.25	65.901	4.5	8.550
	100	-4.550	1000	10.090	50	-9.540	7.5	68.174	5	9.500
	150	-6.825	1100	11.099	55	-10.494	7.75	70.446	5.5	10.449
	200	-9.100	1200	12.108	60	-11.448	8	72.718	6	11.399
	250	-11.375	1300	13.117	65	-12.402				
	300	-13.650	1400	14.126	70	-13.356				
	350	-15.925	1500	15.135	75	-14.310				
	400	-18.200	1600	16.144	80	-15.264				
	450	-20.475	1700	17.153	85	-16.218				
	500	-22.750	1800	18.162	90	-17.172				
	550	-25.025	1900	19.171	95	-18.126				
	600	-27.300	2000	20.180	100	-19.080				

Quadro 10 - V₈₅ em recta para veículos ligeiros

Veículos ligeiros										
V85=30.722-0.0444cmj1+0.01093L-0.24354decl1+10.5470lfaixa1+1.8200lberma1										
Constante	cmj1	veloc	L	veloc	decl1	veloc	lfaixa1	veloc	lberma1	veloc
(km/h)	(%/km)	(km/h)	(m)	(km/h)	(m/km)	(km/h)	(m)	(km/h)	(m)	(km/h)
30.722	0	0.000	0	0.000	0	0.000	5	52.735	0	0.000
	10	-0.444	100	1.093	5	-1.218	5.25	55.372	0.5	0.910
	20	-0.888	200	2.186	10	-2.435	5.5	58.009	1	1.820
	30	-1.332	300	3.279	15	-3.653	5.75	60.645	1.5	2.730
	40	-1.776	400	4.372	20	-4.871	6	63.282	2	3.640
	50	-2.220	500	5.465	25	-6.089	6.25	65.919	2.5	4.550
	60	-2.664	600	6.558	30	-7.306	6.5	68.556	3	5.460
	70	-3.108	700	7.651	35	-8.524	6.75	71.192	3.5	6.370
	80	-3.552	800	8.744	40	-9.742	7	73.829	4	7.280
	90	-3.996	900	9.837	45	-10.959	7.25	76.466	4.5	8.190
	100	-4.440	1000	10.930	50	-12.177	7.5	79.103	5	9.100
	150	-6.660	1100	12.023	55	-13.395	7.75	81.739	5.5	10.010
	200	-8.880	1200	13.116	60	-14.612	8	84.376	6	10.920
	250	-11.100	1300	14.209	65	-15.830				
	300	-13.320	1400	15.302	70	-17.048				
	350	-15.540	1500	16.395	75	-18.266				
	400	-17.760	1600	17.488	80	-19.483				
	450	-19.980	1700	18.581	85	-20.701				
	500	-22.200	1800	19.674	90	-21.919				
	550	-24.420	1900	20.767	95	-23.136				
	600	-26.640	2000	21.860	100	-24.354				

Quadro 11 – V_{85} em curva para a totalidade dos veículos

Totalidade dos veículos										
$V_{85}=61.849-(435.322/R^{0.5})+0.3516V_{recta}+3.0560l_{faixa}+(7938.99/R^2)+0.02207L$										
Constante (km/h)	R (m)	$35.322/R^{0.5}$ (km/h) (1)	$7938.99/R^2$ (km/h) (2)	veloc (km/h) (1+2)	V_{recta} (km/h)	veloc (km/h)	l_{faixa1} (m)	veloc (km/h)	L (m)	veloc (km/h)
61.849	0	0.000	0.000	0.000	30	10.548	5	15.280	25	0.552
	100	-43.532	0.794	-42.738	40	14.064	5.25	16.044	50	1.104
	200	-30.782	0.198	-30.583	50	17.580	5.5	16.808	75	1.655
	300	-25.133	0.088	-25.045	60	21.096	5.75	17.572	100	2.207
	400	-21.766	0.050	-21.716	70	24.612	6	18.336	125	2.759
	500	-19.468	0.032	-19.436	80	28.128	6.25	19.100	150	3.311
	600	-17.772	0.022	-17.750	90	31.644	6.5	19.864	175	3.862
	700	-16.454	0.016	-16.437	100	35.160	6.75	20.628	200	4.414
	800	-15.391	0.012	-15.379	110	38.676	7	21.392	225	4.966
	900	-14.511	0.010	-14.501	120	42.192	7.25	22.156	250	5.518
	1000	-13.766	0.008	-13.758	130	45.708	7.5	22.920	275	6.069
	1100	-13.125	0.007	-13.119	140	49.224	7.75	23.684	300	6.621
	1200	-12.567	0.006	-12.561	150	52.740	8	24.448	325	7.173
	1300	-12.074	0.005	-12.069						
	1400	-11.634	0.004	-11.630						
	1500	-11.240	0.004	-11.236						
	1600	-10.883	0.003	-10.880						
	1700	-10.558	0.003	-10.555						
	1800	-10.261	0.002	-10.258						
	1900	-9.987	0.002	-9.985						
	2000	-9.734	0.002	-9.732						

Quadro 12 – V_{85} em curva para veículos ligeiros

Veículos ligeiros										
$V_{85}=58.400-(434.00/R^{0.5})+0.35900V_{recta}+3.5600l_{faixa}+(7225.00/R^2)+0.02500L$										
Constante (km/h)	R (m)	$34.00/R^{0.5}$ (km/h) (1)	$7225.00/R^2$ (km/h) (2)	veloc (km/h) (1+2)	V_{recta} (km/h)	veloc (km/h)	l_{faixa1} (m)	veloc (km/h)	L (m)	veloc (km/h)
58.400	0	0.000	0.000	0.000	30	10.770	5	17.800	25	0.625
	100	-43.400	0.723	-42.678	40	14.360	5.25	18.690	50	1.250
	200	-30.688	0.181	-30.508	50	17.950	5.5	19.580	75	1.875
	300	-25.057	0.080	-24.977	60	21.540	5.75	20.470	100	2.500
	400	-21.700	0.045	-21.655	70	25.130	6	21.360	125	3.125
	500	-19.409	0.029	-19.380	80	28.720	6.25	22.250	150	3.750
	600	-17.718	0.020	-17.698	90	32.310	6.5	23.140	175	4.375
	700	-16.404	0.015	-16.389	100	35.900	6.75	24.030	200	5.000
	800	-15.344	0.011	-15.333	110	39.490	7	24.920	225	5.625
	900	-14.467	0.009	-14.458	120	43.080	7.25	25.810	250	6.250
	1000	-13.724	0.007	-13.717	130	46.670	7.5	26.700	275	6.875
	1100	-13.086	0.006	-13.080	140	50.260	7.75	27.590	300	7.500
	1200	-12.529	0.005	-12.523	150	53.850	8	28.480	325	8.125
	1300	-12.037	0.004	-12.033						
	1400	-11.599	0.004	-11.595						
	1500	-11.206	0.003	-11.203						
	1600	-10.850	0.003	-10.847						
	1700	-10.526	0.003	-10.524						
	1800	-10.229	0.002	-10.227						
	1900	-9.957	0.002	-9.955						
	2000	-9.705	0.002	-9.703						

3.3.4 – Homogeneidade em elementos geométricos isolados

O critério usualmente mais utilizado para a avaliação da homogeneidade de um projecto de estradas é baseado no estudo e análise das velocidades. Para um elemento geométrico simples a sua homogeneidade é avaliada pela comparação entre a sua velocidade específica ou velocidade de tráfego com a velocidade base pretendida, ou então entre a sua velocidade específica e a velocidade de tráfego. No caso de trechos de estrada compostos por elementos geométricos sucessivos a homogeneidade de traçado é avaliada através do estudo e análise da variação da velocidade específica ou da velocidade de tráfego ao longo dos elementos geométricos sucessivos que compõem esse trecho.

Baseada na diferença entre a velocidade V_{85} e a velocidade base (VB) ou de projecto (design speed), vários estudos foram desenvolvidos para avaliar a homogeneidade de traçado de um elemento geométrico simples de uma estrada.

Algumas das aproximações a este tema recomendadas por países Europeus, com o intuito de se atingir um bom grau de homogeneidade entre V_{85} e a velocidade base foram sumarizadas por Brenac (1996).

No Reino Unido a velocidade base é determinada através de um método iterativo. Um alinhamento inicial é definido através de uma velocidade base pretendida, sendo posteriormente calculadas as velocidades de tráfego, dos vários elementos do traçado, através de um modelo estatístico. Seguidamente o projectista, por comparação entre as velocidades, pode se necessário, ajustar algumas partes do alinhamento ou alterar a velocidade base, por forma a aproximar uma da outra. A vantagem desta abordagem é a de assegurar a consistência entre as várias V_{85} e a velocidade base.

Nas normas Alemãs, a velocidade base é usada para a determinação dos raios mínimos das curvas horizontais e verticais e para a fixação dos valores máximos das pendentes dos traneis. Seguidamente a velocidade de tráfego é estudada para os vários trechos da estrada, de acordo com o CCR (definido em 3.3.2) e a largura da estrada, sendo estas velocidades utilizadas para a definição de outras características, como a sobrelevação. É então indicado que a diferença entre as duas velocidades não deverá exceder os 20 km/h, caso contrário, deverá ser alterada a velocidade base ou modificadas as características do

alinhamento para reduzir ou aumentar a velocidade de tráfego em alguns troços. (Brenac, 1996).

A prática Francesa é similar à Alemã, excepto na determinação das velocidades de tráfego que são definidas para cada elemento do alinhamento. Posteriormente esta velocidade é utilizada para a verificação da distância de visibilidade ao longo do alinhamento.

Dado estas abordagens só assegurarem a homogeneidade de projecto em elementos singulares do alinhamento, regras adicionais de projecto são recomendadas para a obtenção de homogeneidade entre elementos sucessivos do alinhamento (Brenac, 1996).

Nos EUA Leisch e Leisch (1977) propuseram o conceito de velocidade base dependente da V_{85} . O objectivo desta metodologia foi o de satisfazer melhor as expectativas do condutor e alcançar uma consistência de circulação. Foi recomendado que a diferença entre a VB e a V_{85} não deve exceder os 15 km/h. Além disso, a diferença da V_{85} entre veículos de passageiros e veículos pesados, num elemento geométrico específico, foi limitada também a 15 km/h.

Noutro estudo, para avaliar a homogeneidade de elementos geométricos independentes, Lamm et al. (1995), investigaram e relacionaram a diferença entre VB e V_{85} com a taxa de acidentes e as características geométricas de curvas horizontais, em estradas que se encontravam em serviço. Baseados nas taxas médias de acidentes, a diferença entre VB e V_{85} foi então sugerida como elemento avaliador da homogeneidade e qualidade de projecto da seguinte forma:

- Projecto bom, se $V_{85} - VB \leq 10$ km/h (não existe a necessidade de correcções de traçado);
- Projecto médio, se $10 \text{ km/h} < V_{85} - VB \leq 20$ km/h (são necessárias algumas correcções. O valor das sobrelevações e das distâncias de visibilidade devem ser calculados com a V_{85} esperada);
- Projecto fraco, se $V_{85} - VB \geq 20$ km/h (os locais perigosos onde se verificam estes diferenciais devem de ser reprojectados com base no valor de V_{85}).

Nestes estudos, além de se usar V_{85} como dado base para a selecção da velocidade base também indicam que, para o caso da existência de um limite de velocidade (velocidade obrigatória) também este deve ser seleccionado com base na V_{85} .

3.3.5 – Homogeneidade entre elementos geométricos sucessivos

Diferentes métodos foram propostos para a avaliação da homogeneidade de um troço de estrada composto por vários elementos, particularmente no caso de dois alinhamentos sucessivos. Estes métodos utilizam para o seu cálculo (Lamm et al., 1986):

- a média das curvaturas, definida como a razão entre a soma dos ângulos ao centro das curvas horizontais de um determinado troço de estrada, e o comprimento total do respectivo troço;
- a média da ondulação vertical, definida como a razão entre a soma das distância entre cada crista das curvas verticais e o seguinte ponto baixo da curva vertical num troço de estrada, e o comprimento total do troço;
- a taxa dos comprimentos das curva, definida como a razão entre a soma dos comprimentos das curvas horizontais e verticais dum troço de estrada, e o seu comprimento total;
- o raio médio, definido como a média dos raios do conjunto das curvas horizontais do trecho de estrada em estudo;
- o raio de projecto, definido como a razão entre o raio médio e o raio mínimo para a velocidade base do trecho de estrada.

Segundo este autor a homogeneidade de um troço de estrada é directamente proporcional ao raio médio e ao raio de projecto, enquanto tem uma relação inversa com a média das curvaturas, a média da ondulação vertical e a taxa dos comprimentos em curva.

Contudo o mais simples e mais comum método de avaliação da homogeneidade de um projecto de um troço de estrada é baseado nos valores da velocidade de tráfego (Lamm et al. 1988).

Na Rússia Babkov (1968) concluiu que se pode conseguir um projecto de um alinhamento horizontal homogéneo e seguro, se entre dois elementos sucessivos, a velocidade V_{85} do segundo elemento não variar 15% da velocidade V_{85} do elemento precedente.

Os modelos de homogeneidade integrando perfis de velocidade têm sido, entretanto, usados em diferentes países Europeus. A Suíça foi o primeiro país a incorporar esta análise, como medida de procura de homogeneidade e como elemento condicionador da execução e análise do projecto (Krammes et al. 1994).

Kanellaidis et al. (1990) baseado em medidas de velocidade para determinar a velocidade de tráfego em alinhamento recto, e com apoio do modelo (20) para a determinação da V_{85} em curva, sugeriu que um bom projecto pode ser encontrado se a diferença entre a V_{85} do alinhamento recto e da curva circular seguinte não exceder os 10 km/h.

Baseado em taxas médias de acidentes Lamm et al. (1995) sugeriu outro critério para a avaliação da homogeneidade entre um alinhamento recto e a curva circular seguinte:

- Projecto bom, se a diferença entre $V_{85} \leq 10$ km/h (existe homogeneidade);
- Projecto médio, se a variação estiver no intervalo $10 \text{ km/h} < V_{85} \leq 20 \text{ km/h}$ (existem pequenas falhas de homogeneidade e serão necessários avisos de perigo);
- Projecto fraco, se a diferença entre $V_{85} \geq 20$ km/h (existem fortes falhas de homogeneidade, tornando-se necessário a revisão do projecto).

Outros modelos foram entretanto desenvolvidos. Al-Masaeid et al. (1995) com o intuito de expressar a redução de velocidade entre o alinhamento recto e a curva circular que se lhe seguirá, não só função das características geométricas em planta (raio da curva), mas também função das condições do pavimento, existência de uma curva vertical no interior da curva horizontal e inclinação do trainel, chegando à conclusão que todas estas características afectam de forma significativa a homogeneidade de um projecto. Formularam três modelos de redução de velocidade específica entre o alinhamento recto e a curva circular:

$$\Delta V = 3.30 + 1.58D \quad (R^2 = 0.62) \quad (41)$$

$$\Delta V = 1.84 + 1.39D + 4.09P + 0.07G \quad (R^2 = 0.77) \quad (42)$$

$$\Delta V = 1.45 + 1.55D + 4P + 0.00004L_v^2 \quad (R^2 = 0.76) \quad (43)$$

onde:

ΔV – redução da velocidade específica entre o alinhamento recto e a curva circular (km/h);

D – grau de curvatura (graus);

P – factor reflectindo as condições do pavimento tomando valores de 1 ou 0;

G – inclinação do trainel (%);

L_v – comprimento da curva vertical no interior da curva horizontal (m).

Os modelos expostos são recomendados, respectivamente, para curvas horizontais em traineis de pequena inclinação (41), para curvas em traineis com uma inclinação significativa (42) e para situações em que existem curvas verticais (43).

Baseado em (41) e no critério enunciado por Lamm et al. (1995) para a classificação de um projecto, conclui que um bom projecto pode ser encontrado se, em traineis de pequena inclinação, o grau de curvatura D for inferior a 4.24° ($R > 412m$).

Para curvas horizontais combinadas com várias inclinações, ou com curvas verticais, foram sugeridos valores para o grau de curvatura máximo, função da inclinação do trainel ou do comprimento da curva vertical no interior da curva horizontal.

Para duas curvas horizontais sucessivas, com diferentes valores de velocidades V_{85} , com um alinhamento recto intermédio pequeno, o comprimento mínimo deste alinhamento foi investigado por Lamm et al. (1988), que recomendou que o seu comprimento deveria ser determinado com base na velocidade específica das duas curvas.

Assim, tendo como base nas Leis de Newton do movimento e, na suposição que a média da taxa de desaceleração é igual a 0.85 m/s^2 , o comprimento do alinhamento recto pode ser determinado pela expressão:

$$L_T = \frac{V_{av} * \Delta V_{85}}{11.064} \quad (44)$$

onde:

L_T – comprimento mínimo do alinhamento recto intermédio (m);

V_{av} – média das V_{85} das duas curvas circulares sucessivas (km/h);

ΔV_{85} – diferença entre as V_{85} das duas curvas circulares sucessivas (km/h).

Para duas curvas horizontais sucessivas sem qualquer alinhamento recto intermédio a (American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) recomendou que a razão entre o raio mais pequeno e o maior não deverá exceder o valor de 2:3.

A redução de velocidade entre as duas curvas sucessivas foi estudada por Al-Masaeid et al. (1995), apresentando a seguinte expressão para a traduzir:

$$\Delta V = 5081 \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) \quad (R^2 = 0.62) \quad (45)$$

onde R_1 e R_2 representam os raios da primeira e da segunda curva circular, respectivamente.

Quadro 13 – Relações de raios entre curvas sucessivas

Modelo de Al-Masaeid			P3/94	
Raio	Rmenor	Rmaior	Rmenor	Rmaior
100	84	125	75	150
200	144	330	150	300
300	189	732	210	500
400	224	1880	260	750
500	252	31364	310	1500
600	275	s/limite	350	s/limite
800	311	s/limite	410	s/limite
1000	337	s/limite	460	s/limite
1500	380	s/limite	500	s/limite

Utilizando a máxima redução de velocidade para um bom projecto, de 10 km/h, segundo Lamm, para um raio concreto da primeira curva, determina-se o mínimo e o máximo raio da segunda curva. No Quadro 13 é realizada uma análise comparativa entre o modelo de Al-Masaeid et al. e a Norma P3/94 verificando-se para raios inferiores a 300 metros valores bastante similares. Para raios superiores a Norma é bastante mais restrita que o modelo apresentado.

Neste tipo de análise deve-se atender a que, quando se pretender fazer a avaliação da homogeneidade de uma sucessão de elementos geométricos de uma estrada com uma maior precisão, tem que se considerar o carácter tridimensional do seu eixo. A isto acresce que os trabalhos de investigação para a determinação de medidas de homogeneidade em elementos sucessivos, devem ser expandidos a um número cada vez maior de diferentes sucessões e combinações de elementos geométricos.

Uma simplificação comum, em todos os modelos precedentes, com excepção do modelo (43), é a análise dos alinhamentos horizontais de uma forma individual, fazendo-se um estudo a duas dimensões, partindo-se então seguidamente para o estudo em separado dos alinhamentos verticais.

3.4 – Análise sobre segurança

O estudo da segurança em estradas demonstra que, uma circulação de tráfego segura e um bom desempenho e eficiência de condução, estão normalmente associados a projectos de estradas consistentes. Sendo os acidentes uma forma de medição da segurança de uma estrada, enunciam-se seguidamente alguns estudos que estão a ser realizados sobre a relação dos efeitos entre a geometria de traçado, volume de tráfego e a estabilidade do veículo com a ocorrência de acidentes.

3.4.1 – Acidentes de tráfego

O estudo da sinistralidade de uma estrada é o meio de diagnóstico mais utilizado para a verificação da sua segurança. A maioria dos estudos parte da recolha dos dados estatísticos

existentes, recolhidos pelas polícias e tratados posteriormente por organismos especializados, que se apresentam muito limitados em relação a alguns tipos de informação nomeadamente sobre as circunstâncias em que se deram os acidentes, consequência deste tipo de recolha de elementos ser muito dispendiosa, requerendo pessoal especializado. Há, no entanto, estudos que recorrem a análises mais aprofundadas sobre os acidentes, com recolha o mais rápido possível de elementos no local do acidente para interpretação, por forma a poderem reproduzir o mais fiel que possam, das causas e consequências do mesmo.

Deve ser salientado que estas análises, e os modelos delas resultantes, são válidas para as áreas e países em que foram estudadas, podendo não ser aplicáveis em outras zonas ou outros países com outros graus de desenvolvimento, diferentes mentalidades de condução, leis, fiscalização, terreno, clima, dispositivos de controlo de tráfego e parques automóveis.

Segundo Sabey et al. (1975), no Reino Unido os acidentes são influenciados em 95% por questões relacionadas com o factor humano, em 8% por factores resultantes do veículo e por 28% por questões ligadas à estrada.

Um outro estudo realizado nos EUA por Treat (1980) apresenta, respectivamente, os valores de 94%, 12% e de 34%. Neste estudo, numa dissecação do valor correspondente ao factor humano, refere que este pode ser dividido em 56% de erros de reconhecimento, 52% de erros de decisão, 11% de erros de desempenho, e de 2% de erros devido a acontecimentos diversos, como doenças súbitas, álcool, adormecimento, etc, havendo em múltiplas situações simultaneidade de factores.

Segundo Cardoso (1996), em Portugal, no período de Janeiro de 1988 a Dezembro de 1993, na Rede Rodoviária Nacional (10000 km) foram participados 87977 acidentes corporais, originando 7661 mortos, 24620 feridos graves e 112255 feridos ligeiros. Nestes acidentes cerca de 19% foram colisões frontais (27% dos mortos), 13% colisões traseiras (7% dos mortos), 28% foram colisões laterais (17% dos mortos), 12% foram atropelamentos (21% dos mortos) e 20% foram despistes (22% dos mortos). Mais de 80% dos acidentes ocorreu em piso seco e cerca de 15% em piso molhado. Mais de metade dos acidentes (56%) ocorreu fora de povoação. Em termos de repartição no dia, 62 % decorreram de dia e 17% sob noite escura.

Em termos de distribuição pelos vários tipos de veículos, 67% foram veículos ligeiros, 24% veículos de duas rodas (correspondendo 81% a velocípedes com motor), 1.2% de autocarros e 7% de pesados de mercadorias, incluindo tractores e semi-reboques. Estes valores correspondem a um tráfego, segundo o recenseamento do JAE, a nível nacional (expresso em veículos x quilómetro) com a seguinte constituição: 1% de veículos de duas rodas; 85 % de veículos ligeiros; e 14% de veículos pesados. Ressalta destas distribuições, a altíssima taxa de acidentes em veículos de duas rodas, que correspondendo a 1% do total de tráfego são intervenientes em 24% dos acidentes.

Às curvas em estradas rurais, fora da influência dos cruzamentos, estão associados um número elevado de acidentes e de vítimas, 24% dos acidentes e mais de 23% das vítimas mortais do total do nosso País, valores semelhantes aos de outros países europeus. Como por exemplo, a Finlândia com respectivamente 17% (3387 em 20344) e 18% (386 em 2138) no período de 1989-93, a França com 27% (11287 em 41866) e 29% (1655 em 5786) em 1994, e a Dinamarca com 20% (3284 em 16815) e 20% (382 em 1875) no período de 1989-1993.

Segundo o mesmo autor, em Portugal, a taxa de sinistralidade em 1990 é menor em Itinerários Principais (IP), com o valor de 0.577 acidentes corporais fora de cruzamentos por milhão de veículos x quilómetro, do que a verificada em Itinerários Complementares (IC), com o valor de 0.670, que por sua vez, é inferior à registada em Outras Estradas (OE) com o valor de 0.783.

Há situações adversas em certos trechos de estrada que podem estar ligados a fenómenos temporais envolventes à estrada, verificando-se só em determinadas épocas do ano e horas do dia. Um exemplo é o caso da falta de exposição solar em certos locais que leva à formação de geada e à degradação das condições de aderência de uma forma brusca e sem que o condutor se aperceba, criando uma quebra abrupta de consistência na estrada. Outro exemplo é a existência de alinhamentos rectos que dada a sua orientação, em certas épocas do ano e horas do dia originam encadeamentos solares que diminuem drasticamente a distância de visibilidade.

Através dos estudos de sinistralidade, verifica-se que a variação de velocidades entre elementos geométricos consecutivos é a variável mais influente, constatando-se que a sinistralidade cresce com o incremento da diferença das velocidades. Outro factor influente que aparece com peso elevado nos modelos de sinistralidade, principalmente em alinhamentos rectos, é a largura da faixa de rodagem, observando-se uma relação inversa.

3.4.2 – Perfil transversal

A relação entre a sinistralidade e o perfil transversal foi estudada por Pignataro (1973). O resultado mostrou que a taxa total de acidentes por milhão de veículos x milha em estradas rurais de duas vias decresce de 5.5 para 2.4 com o aumento da largura da faixa de rodagem de 5.5 metros para 7.5 metros. Também demonstrou que a taxa de acidentes decresce de 22% em estradas rurais de duas vias com volumes de tráfego pequenos e decresce de cerca de 47% no mesmo tipo de estradas mas com um volume de tráfego elevado, quando a largura da faixa de rodagem foi alargada de 5.5 metros para 6.7 metros.

Baseado em dados provenientes da Rússia, Alemanha e de outros países Europeus, Silyanov (1973) estabeleceu uma relação entre a taxa de acidentes (N - número de acidentes por milhão de veículos x quilómetro) e a largura da faixa de rodagem (W):

$$N = \frac{1}{0.173W - 0.21} \quad (46)$$

Esta relação indica que a taxa de acidentes diminui com o aumento da largura da faixa de rodagem. Na antiga URRS, Babkov (1975) também estudou a relação entre a taxa de acidentes e o perfil transversal em estradas rurais de duas vias, tendo concluído que a taxa de acidentes decresce cerca de 50% com o aumento da largura da faixa de rodagem de 4.5 metros para 6.5 metros, tendo simultaneamente verificado a importância da largura da berma e concluído que uma largura insuficiente origina um aumento da taxa de acidentes. Como corolário deste estudo deixou a indicação que, para que a berma possa ser considerada segura a sua largura não deve ser inferior a 3.0 metros.

Num estudo sobre zonas sinuosas, Thompson et al. (1983) verificou que a diminuição da largura pavimentada leva a um aumento da taxa de acidentes.

Zegeer (1991) indica a existência de taxas de sinistralidade superiores em estradas com bermas não pavimentadas comparativamente a estradas com bermas estabilizadas. A isto não é indiferente o melhor domínio dos veículos em manobras evasivas ou de recurso em estradas com bermas estabilizadas.

Cardoso (1994) em estudo da sinistralidade na rede rodoviária nacional portuguesa, verificou uma menor taxa de acidentes em Itinerários Complementares com bermas pavimentadas de larguras superiores a 1,5 metros, ou com bermas não pavimentadas de larguras superiores a 2,00 metros.

Segundo diversos autores a inclinação transversal de uma secção de estrada está fortemente correlacionada com a taxa de acidentes.

Um outro factor que apresenta influência na taxa de acidentes, nomeadamente ao nível da sua gravidade, é a desobstrução lateral, principalmente em situações de acidente por despiste e de sinistros por colisão com obstáculos.

Segundo as recomendações suecas, os taludes de escavação, em rocha, devem encontrar-se a uma distância mínima da via de 4.0 metros, no caso de estradas de baixa velocidade, devendo a distância mínima passar para 6.0 metros se a estrada for de alta velocidade.

3.4.3 – Alinhamento horizontal

Já em 1946, Baldwin demonstrou que a taxa de acidentes cresce com a diminuição do valor do raio das curvas horizontais, e que decresce em curvas de pequeno raio com o aumento da frequência das curvas por unidade de comprimento da estrada.

A taxa de acidentes em curvas em planta, foi também estudada por Wilson (1968), que constatou que em curvas circulares em planta com raio inferior a 170 metros ($D > 10^\circ$), a taxa de acidentes é de cerca de cinco vezes superior que em curvas com raio superior a 910

metros ($D < 2^\circ$). Este mesmo estudo aponta o perigo que é a existência de uma curva apertada após um longo alinhamento recto.

Babkov (1975) confirmou o sentido da análise anterior e, resultado dos seus próprios estudos, afirmou que a taxa de acidentes em curvas em planta com raio de 125 metros ($D = 14^\circ$) é cerca de quatro vezes maior do que em curvas com raio de 1000 metros ($D = 1.75^\circ$).

Em Portugal, Castilho (1983), após o estudo dos acidentes com danos corporais mais importantes nos 18000 km da rede rodoviária nacional no triénio de 1967 a 1969, apresentou o seguinte modelo que relaciona a taxa de acidentes corporais por milhão de veículos x quilómetro com a raio de curvatura em planta:

$$N = 55.9952 - 2.73725 * R + 0.037052 * R^2 \quad (R^2 = 0.36) \quad (47)$$

onde:

- N – taxa de acidentes corporais por milhão de veículos x quilómetro;
- R – raio da curva (m).

Segundo Cardoso (1996) a curvatura em planta apresenta, um efeito local em que as características da secção atravessada condicionam a atitude do condutor, e outro global em que as características médias do traçado da estrada percorrido determinam a expectativa do condutor. A nível local existe uma correlação negativa entre o raio da curva e a taxa de acidentes. A nível global existe uma correlação positiva entre o grau de curvatura médio e a taxa de acidentes. Foi também verificado um importante efeito de interacção entre os efeitos locais e globais, isto é, uma curva com determinado raio terá taxas de sinistralidade diferentes consoante se integre num traçado sinuoso ou rectilíneo.

Lamm e Choueiri (1987) concluíram que o parâmetro mais importante para a avaliação da variação da taxa de acidentes era o raio da curva (grau de curvatura) e indicam que se consegue uma boa homogeneidade para a sequência de um alinhamento recto seguido de uma curva, se esta tiver um raio igual ou superior a 350 metros ($D \leq 5^\circ$), situação que demonstrou ser a que apresenta a menor taxa de sinistralidade. Em termos de referência é ainda apresentado que a taxa de acidentes numa curva horizontal com raio compreendido

entre $175\text{m} \leq R < 350\text{m}$ ($5^\circ \leq D < 10^\circ$) é, pelo menos, duas vezes mais elevada que quando o $R > 350$ metros ($D \leq 5^\circ$). Se o raio estiver no intervalo de $116\text{m} \leq R < 175\text{m}$ ($10^\circ \leq D < 15^\circ$), comparativamente com o mesmo raio $R > 350\text{m}$ ($D \leq 5^\circ$), a taxa de acidentes aumenta para quase quatro vezes.

Brenac (1996) também se debruçou sobre este tema tendo concluído que a probabilidade de ocorrência de acidentes em estradas rurais de duas vias é especialmente elevada em curvas horizontais, além de ter confirmado que a taxa de acidentes diminui com o crescimento do raio da curva horizontal.

Lamm et al. (1987, 1988) confrontando as Normas de Projecto Alemãs (Geometric, 1973), a regulamentação Sueca (Standart, 1986) e a regulamentação Suíça (Highway, 1981), sugeriu o seguinte critério de avaliação da qualidade de um projecto baseado na taxa de acidentes:

- Projecto bom, se: $\frac{\text{acidentes}}{10^6(\text{veículos} * \text{km})} \leq 2.27$;
- Projecto médio, se: $2.27 < \frac{\text{acidentes}}{10^6(\text{veículos} * \text{km})} \leq 5.00$;
- Projecto fraco, se: $\frac{\text{acidentes}}{10^6(\text{veículos} * \text{km})} > 5.00$.

Deve-se salientar que este critério foi a base para os outros critérios de avaliação da qualidade que já foram apresentados, quer para elementos geométricos simples, quer para os casos de elementos geométricos sucessivos.

3.4.4 – Alinhamento vertical

A velocidade de circulação de um veículo é influenciada pelas características da geometria do alinhamento vertical. Em traineis com pendentes acentuadas os veículos pesados, sofrem reduções de velocidade, que podem ser significativas.

Os problemas dos veículos pesados em traineis com inclinação significativa, principalmente se associada a grandes extensões, coloca-se nas subidas e nas descidas, originando neste caso não só uma redução de velocidade, como principalmente uma sobrecarga e aquecimento do sistema de travagem do veículo tendo, por vezes, como consequência uma redução drástica da capacidade de travagem do veículo e consequentemente da segurança rodoviária.

Nos veículos ligeiros, a variação da velocidade de tráfego, consequência da existência de traineis inclinados, é muito mais pequena que em veículos pesados.

Utilizando bases de dados provenientes do Reino Unido, da antiga URSS e da Alemanha, Silyanov (1973) estabeleceu uma relação directa entre taxa de acidentes e pendentos de traineis:

$$N = 0.265 + 0.105G + 0.023G^2 \quad (48)$$

em que G representa a inclinação do trainel em (%).

Esta relação indica que a taxa de acidentes cresce com o crescimento da inclinação do trainel. Este estudo foi posteriormente confirmado por Choueiri et al. (1994), tendo concluído que a taxa de acidentes aumenta ligeiramente com o crescimento da inclinação até aos 6%, passando a crescer rapidamente com o aumento da inclinação a partir daquele valor.

Morrall e Abdelwahab (1998), por sua vez, verificam que a existência de saídas de emergência em estradas declivosas reduz a ocorrência de acidentes e consequentemente provocam uma melhoria na segurança da estrada.

Por outro lado, Mendoza e Mayoral (1994) referem que o utilização de vias de lentos é importante no aumento da segurança nas estradas com inclinações superiores a 3%.

Harwood et al. (1987), num estudo de beneficiações de estradas rurais de duas vias a baixos custos, analisou que a colocação de vias adicionais em rampa e declive reduz as

taxas de sinistralidade, podendo em estradas com tráfego médio diário elevado esta redução atingir os 25%.

Em França, em traneis com mais de 4% de inclinação, verificou-se a existência de uma taxa de acidentes superior em cerca de 20%, comparativamente a traneis de pequena inclinação.

3.4.5 – Distância de visibilidade

A distância de visibilidade, que depende em simultâneo das alinhamentos horizontais e verticais, é de grande importância na segurança rodoviária. Nos EUA, Urbanik (1989) demonstrou que a taxa de acidentes está inversamente correlacionada com a distância de visibilidade. Sparks (1968) nos EUA e Silyanov (1973) na antiga URSS, confirmaram esta relação inversa. Babkov (1975) dá a conhecer que a falta de distância de visibilidade é a razão principal de 8 a 10% dos acidentes na antiga URSS.

Olson et al. (1984) estudou a frequência de acidentes em pares de curvas verticais. Cada par foi seleccionado de forma a que ambas as curvas tivessem o mesmo tráfego e características. Uma das curvas do par apresentava uma distância de visibilidade limitada e a outra tinha uma distância de visibilidade superior ao mínimo recomendado na edição de 1965 das normas da AASHO. O resultado deste estudo indicou que o número de acidentes nas curvas com distância de visibilidade limitada era significativamente superior ao das outras curvas, verificando-se que a distância de visibilidade quando desce a valores inferiores a 200 metros durante extensões prolongadas, está correlacionada de forma positiva com a taxa de acidentes.

Contudo, apesar da verificação da existência de uma correlação entre a insuficiência de visibilidade com a taxa de sinistralidade, não foi encontrada nenhuma sugestão para expressar um critério de qualidade de projecto em função da distância de visibilidade.

Salienta-se o facto, de muitas vezes, como a deficiência da distância de visibilidade resulta de condições geométricas de traçado, são estes últimos factores que são correlacionados com a sinistralidade.

3.4.6 – Volume de tráfego

Já foram investigadas várias relações entre a taxa de acidentes e o volume de tráfego em estradas rurais de duas vias, entre as quais se destacam as referências a seguir apresentadas.

Babkov (1968, 1975) estudou a segurança de tráfego em estradas rurais de duas vias na antiga URSS e concluiu que o número de acidentes cresce, geralmente em proporção com o aumento do volume de tráfego até 5000 veículos por dia.

Wilson (1968) estudou o efeito do volume de tráfego, em acidentes graves no Reino Unido, e constatou que a taxa de acidentes baixa quando o volume aumenta.

Na Suécia, Roosmark e Fraeki (1970) concluíram que a taxa de acidentes com veículos isolados decresce com o aumento do volume de tráfego. Para acidentes com vários intervenientes, a taxa de acidentes cresce com o crescimento do volume de veículos.

Lamm et al. (1988) após o estudo de 322 curvas no estado de Nova Iorque apresentou um modelo que relaciona a taxa anual de acidentes (N) com o tráfego médio diário (TMD) e o raio da curva (R , medido em pés), válido para curvas de raio entre 1740 ft (5709 metros) e 64 ft (210 metros) e tráfego médio diário entre 400 e 5000 veículos dia.

$$N = 2.025 + 7631.827 \frac{1}{R} - 0.0001TMD \quad (R^2 = 0.45) \quad (49)$$

Tal como para a distância de visibilidade, não foi encontrado nenhuma forma de critério para expressar a interacção entre a qualidade de projecto, o volume de tráfego e a taxa de acidentes.

3.4.7 – Estabilidade do veículo

O estudo da estabilidade do veículo é uma questão importante, e que se deve ter em atenção para a execução de um bom projecto de uma estrada, por forma a se alcançar uma

circulação de tráfego segura. Se as forças centrífugas que um veículo experimenta, ao circular numa curva em planta, forem excessivas, podem levar a que o veículo se despiste e originar choques frontais com veículos que circulam em sentido contrário.

Na prática corrente de projecto, a força centrífuga é equilibrada pelo atrito lateral entre os pneus do veículo e o pavimento e pela componente do peso resultante da sobrelevação.

Muitos dos problemas de segurança podem ser solucionados através da verificação da estabilidade do veículo. Deve-se ter em atenção que a expressão de equilíbrio normalmente utilizada traduz unicamente uma situação de curva horizontal plana, não representando, por exemplo, o efeito da existência de uma curva vertical ou de uma inclinação em combinação com a curva horizontal.

Além deste aspecto, na expressão de equilíbrio existem algumas simplificações, nomeadamente: primeiro, o facto do veículo ser representado por um ponto de massa e não por um corpo, resultando a não consideração da variação na distribuição das forças de atrito entre os diferentes pneus; segundo, o facto de o veículo não se deslocar a uma velocidade constante e da trajectória real do veículo não ser uma curva de raio constante e igual ao raio da curva em que circula (Glennon e Weaver, 1972).

Lamm et al. (1991) sugeriu um modelo quantitativo para a avaliação da qualidade de um projecto baseado na estabilidade do veículo, através da diferença entre o coeficiente de atrito existente e o coeficiente de atrito mobilizado, que teve por base um estudo de 197 curvas horizontais, em que para a determinação do coeficiente de atrito existente (f_r) em cada curva, utilizou a tabela III-6 do guia da AASHTO (A policy 1984) e, para a determinação do coeficiente de atrito mobilizado f_{rd} utilizou a fórmula da AASHTO com a seguinte expressão:

$$f_{rd} = \frac{V_{85}}{127R} - Se \quad (50)$$

onde:

- f_{rd} – coeficiente de atrito lateral mobilizado;
- V_{85} – velocidade correspondente ao 85 percentil da distribuição cumulativa de velocidades (km/h).

Se o coeficiente de atrito mobilizado exceder o coeficiente de atrito existente dar-se-á a perda de estabilidade do veículo em curva.

Com os dados recolhidos, posteriormente estabeleceu diferentes modelos de relação entre o coeficiente de atrito existente e o necessário com a velocidade, raio da curva horizontal e a taxa de acidentes. Por exemplo, para estimar f_r e f_{rd} através de V_{85} foram apresentadas as seguintes expressões:

$$f_r = 0.082 + 4.692 * 10^{-3} V_{85} - 7 * 10^{-5} V_{85}^2 \quad (R^2 = 0.74) \quad (51)$$

$$f_{rd} = 0.253 + 2.330 * 10^{-3} V_{85} - 9 * 10^{-5} V_{85}^2 \quad (R^2 = 0.56) \quad (52)$$

Num estudo posterior, Lamm et al. (1995), baseado em estudos de acidentes, sugeriu, utilizando a diferença entre f_r e f_{rd} ($\Delta f_r = f_r - f_{rd}$), o seguinte critério de avaliação da qualidade de projecto, baseado nestes parâmetros:

- Projecto bom, se $\Delta f_r \geq +0.02$, não há necessidade de melhorias ;
- Projecto médio, se $+0.02 > \Delta f_r \geq -0.02$, o valor da sobrelevação deve de ser relacionado com a velocidade específica para assegurar que o coeficiente de atrito lateral seja superior ao coeficiente de atrito mobilizado;
- Projecto fraco, se $\Delta f_r < -0.02$, o projecto deve de ser reformulado.

Nicholson (1988) estudou o efeito da existência de uma margem de segurança, definindo-a como a diferença entre a velocidade considerada segura e a velocidade de tráfego, na homogeneidade de alinhamentos horizontais de projectos. A velocidade segura foi definida como a velocidade para a qual o coeficiente de atrito lateral mobilizado é igual ao máximo valor do coeficiente de atrito lateral existente. A velocidade de tráfego foi definida de acordo com a Norma Australiana para V_{85} . Neste estudo conclui, que a existência de uma margem de segurança num trecho de estrada, não é, só por si, suficiente para alcançar uma consistência de projecto, mas o importante é que essa margem de segurança, mesmo que pequena, seja homogênea.

Schandersson (1990), citado por Cardoso (1996), analisou a influência do estado do pavimento num total de 2886 acidentes corporais fora de cruzamentos, verificados num universo de 18567 quilómetros de estradas rurais de duas vias com tráfego médio diário superior a 1500 veículos. Neste estudo chegou à conclusão interessante, de a taxa de acidentes em dias de pouca ou nenhuma chuva ser mais baixa em maus pavimentos do que em bons pavimentos, verificando-se o contrário em dias de muita chuva.

3.5 – Análise sobre desempenho

Conseguir-se alcançar uma condução eficiente, confortável e segura é o objectivo principal de um projecto de uma estrada. Quando este é incompatível com o tipo de condução de um seu utilizador, dá origem ao aumento dos erros de condução e leva a uma circulação insegura. Locais que necessitem de uma carga de condução elevada, ou que não permitam uma circulação em que o condutor possa ter reacções atempadas sobre as situações que se lhe deparam, usualmente são locais com altos índices de sinistralidade e são resultado de um mau projecto.

É esperado que uma boa homogeneidade de um traçado, em conjunto com uma boa aparência estética da estrada, afectem positivamente a atitude do condutor e a sua eficiência de condução.

3.5.1 – Carga de condução

A carga de condução pode ser definida (Messer, 1980), como a taxa de tempo que os condutores levam para executar uma quantidade de tarefas de condução, que cresce com o aumento da complexidade das características geométricas da estrada.

Locais com cargas de condução elevadas ou com grande aumento da carga de condução encontram-se associados a elevadas taxas de acidentes (Wooldridge, 1994).

Uma metodologia para a avaliação e melhoria da qualidade de um projecto em estradas rurais de duas vias, baseada em cargas de condução, foi estabelecida por Messer et al.

(1979) e Messer (1980). Para isso estabeleceu características geométricas individuais tipo às quais atribuiu uma carga média potencial (R_f) efectuada por um grupo de peritos em estradas, apresentando-as numa subjectiva escala de valores de 1 a 6. Posteriormente estabeleceu um modelo de regressão para estimar o valor da carga de condução esperada (medida na mesma escala) para uma determinada característica de uma secção da estrada:

$$WL_n = (U * E * S * R_f) + (C * WL_i) \quad (53)$$

onde:

- WL_n – valor da carga de condução esperada para uma determinada característica;
- U – factor de experiência de condução (depende da classificação da estrada e da sua localização);
- E – factor de expectativa ($E = C-1$ se a característica da estrada é similar à anterior, doutro modo $E = 1$);
- S – factor da distância de visibilidade (depende da distância de visibilidade da característica em estudo);
- R_f – carga média de trabalho potencial para a característica tipo;
- C – factor de acumulação (que depende da distância de separação entre características semelhantes);
- WL_i – valor da carga de trabalho da característica semelhante anterior.

Para este modelo foram executadas diferentes figuras e tabelas para determinar os diferentes parâmetros do modelo (Messer, 1980), não tendo contudo, sido descritas as fontes utilizadas para o estabelecimento das figuras e das tabelas.

Foi concluído que uma característica com $WL_n \leq 1$ é considerada como sendo uma característica homogénea, onde não são esperados problemas. Numa característica com $WL_n > 6$ é considerada haver uma aparente falha de homogeneidade.

Outra conclusão foi a do nível de homogeneidade do traçado poder ser melhorado com o aumento do espaço entre a ocorrência da mesma característica, ou aumentando a distância de visibilidade para os acontecimentos.

Outra definição de carga de condução foi sugerida por Krammes et al. (1995), como sendo a percentagem do tempo total de condução que os condutores necessitam de olhar para a estrada, podendo ser medida através do método da oclusão da visão. Neste método é pedido aos condutores para voluntariamente fecharem os olhos e só os abrirem quando pensarem que é necessário extrair informação da estrada, por forma a continuarem a condução. A quantidade de tempo que os condutores estavam dispostos a ter a vista fechada sobre o comprimento fixo da estrada, representou o trabalho mental requerido para a condução.

Os dados recolhidos foram usados para estimar um modelo regressivo para a carga média de condução em curvas:

$$WL = 0.193 + 0.016D \quad (R^2 = 0.90) \quad (54)$$

onde:

- WL – média da carga de condução em curva (%);
- D – grau de curvatura (°).

O perfil da carga de condução num trecho de estrada pode ser estabelecido usando uma carga média de condução em alinhamento recto e em curva. A carga média no alinhamento recto pode ser determinada pelo método da oclusão da vista, enquanto que a carga média na curva pode ser estimada pelo modelo (54).

Foi também associado que localizações de cargas mais elevadas coincidem com locais de taxas de acidentes relativamente elevadas, o que provavelmente resulta de um projecto fraco. Contudo, foi concluído que a utilização da carga de condução como medida de consistência era muito mais limitada que o uso da velocidade de tráfego.

A principal limitação do conceito de carga de condução é a dificuldade em medir estimativas tão subjectivas e consequentemente validar estes modelos.

Lunenfeld et al. apresentaram um estudo em que dividem a carga de condução em três níveis:



- um nível superior de macro-informação, associado à recolha e tratamento de informação sobre o percurso a percorrer, com intervalos de utilização variáveis consoante o conhecimento do percurso, mas de uma maneira geral bastante alargados;
- um nível intermédio de micro-informação, que reflecte o acompanhamento da informação proveniente da infraestrutura e do meio envolvente (sinalização, tráfego, etc.), com intervalos de utilização muito inferiores ao do anterior nível;
- finalmente um terceiro nível correspondente à condução propriamente dita, de actividade, recolha e tratamento de informação constante.

Em termos de complexidade há um sentido crescente do 3º para o 1º nível, em que o 3º nível corresponde a tratamento praticamente automático por parte do condutor e o 1º nível corresponde aquele que necessita de tratamento de informação mais complexo.

Em termos de hierarquização de urgência de tratamento o sentido inverte-se, perante uma reacção anómala do veículo, ou perante uma situação de perigo, a activação do nível de condução é prioritária sobre os outros níveis.

O problema coloca-se quando existe uma alteração da hierarquia de tratamento de informação por parte do condutor, ou em locais em que estes níveis podem competir entre si, caso de intersecções, cruzamentos ou curvas, precisamente os locais onde estão referenciados os maiores níveis de sinistralidade.

Um bom projecto de traçado deve permitir, nomeadamente para os dois primeiros níveis, a existência de intervalos de tempo suficientes para a recepção e tratamento da informação por parte do condutor.

3.5.2 – Expectativa de condução

Uma tentativa de identificação de falhas de homogeneidade de traçado baseada na expectativa de condução foi introduzida por Hirsh (1987). A falta de homogeneidade do traçado foi por ele definida como uma mudança da geometria da estrada que não está de acordo com a expectativa do condutor.

Hirsh (1987) sugeriu que as suposições de alguns investigadores que lidavam com a homogeneidade do traçado geométrico de uma estrada, podem não reflectir o comportamento da generalidade dos condutores. Por exemplo, um traçado que origina uma mudança de 15 km/h para um condutor resultará numa mudança de velocidade diferente para outro condutor. Contudo é impossível considerar-se a população completa de condutores para avaliar a homogeneidade de um traçado, pelo que há que realizar uma análise realista que tenha em conta a variação da velocidade de circulação da população dos condutores.

A expectativa de condução está também relacionada com a avaliação da distância de visibilidade, onde uma visibilidade limitada, particularmente na crista das curvas verticais pode aumentar a taxa de acidentes. (Urbanik et al., 1989).

Para evitar projectos que poderiam levar a curvas horizontais inesperadas, Hassan e Easa (1998) desenvolveram um conceito denominado de distância de visibilidade em zonas vermelhas, utilizando uma análise 3D para determinação de distâncias de visibilidade. Zonas vermelhas foram definidas como os locais da estrada onde uma curva horizontal não deveria começar tendo em conta as curvas verticais, originando distâncias de visibilidade menores que a distância de paragem, ou menores que a distância de visibilidade que permita o condutor se aperceber da curva horizontal e reagir com propriedade e conforto. Este estudo foi desenvolvido para situações de condução diurnas e nocturnas, tomando-se importante a avaliação destas circunstâncias para a situação nocturna, nomeadamente em situações de aterro, em que o foco luminoso aponta para o infinito não existindo qualquer ponto de referência.

A consistência de um projecto permitirá, ao condutor, criar uma expectativa sobre o desenvolvimento da estrada a percorrer, nomeadamente em termos de geometria de traçado, meio ambiental envolvente, características do tráfego, de sinalização, etc. Esta consistência, como consequência, irá gerar uma expectativa de condução e de reacções que permitirá ao condutor criar um cenário de condução antecipativa às situações normais de circulação nessa estrada. Uma quebra na homogeneidade de uma das características indicadas originará uma inconsistência na estrada e levará, à quebra das expectativas do condutor, à resolução de situações não esperadas, à reacção por parte do condutor com

comportamentos não expectáveis, a aumentos de carga mental de condução e consequentemente a situações de risco agravado.

3.5.3 – Componente ambiental da estrada

Embora a principal função de uma rede de estradas seja a de providenciar uma circulação segura e eficiente, a sua agradabilidade da aparência deverá ser considerada. Uma boa aparência da envolvente de uma estrada afecta, directa ou indirectamente, o comportamento do condutor e o seu desempenho.

Uma opinião generalizada entre especialistas e investigadores foi sintetizada por Easa (1995) como “o melhor cumprimento dos parâmetros de projecto, não garante a obtenção de um projecto esteticamente satisfatório”.

Para se alcançar uma boa componente ambiental, várias orientações são recomendadas em vários normativos, nomeadamente sobre a necessidade da existência de uma boa coordenação entre alinhamentos horizontais e verticais,. Como exemplo, algumas das indicações mais comuns nos normativos são:

- deverem ser evitados grandes alinhamentos de inclinação constante ou pequenos alinhamentos entre curvas horizontais ou verticais, na mesma direcção, porque dão informação inconsistente aos condutores;
- deverem ser evitadas pequenas curvas horizontais entre alinhamentos e substituídas por curvas de maior desenvolvimento;
- os alinhamentos horizontais deverem, sempre que possível, seguir a direcção das curvas de nível naturais , e os alinhamentos verticais devem ser constituídos por traineis suaves;
- nos alinhamentos combinados, a razão entre os raios das curvas horizontais e verticais deverem estar no intervalo de 0.20 e 0.10, de forma a que os condutores tenham uma condução segura (Smith e Lamm, 1994).

4 – INDICADORES DE QUALIDADE DE TRAÇADOS RODOVIÁRIOS

4.1 – Enquadramento

Na área da engenharia correspondente aos projectos de traçados rodoviários, existem dois tipos de estudos, que dadas as suas especificidades, são alvo de metodologias diferentes de abordagem, quer em termos de recolha de dados base, quer em termos de parâmetros de estudo e de abordagem do desenvolvimento do projecto: a execução de projectos de traçados completamente novos e a execução de projectos de remodelação de estradas existentes.

Assim, devem existir para estas duas vertentes do projecto de traçado rodoviário, metodologias próprias de aferição e controlo da sua qualidade, ainda que, em ambos os casos, devam obedecer a critérios e parâmetros mínimos comuns e o objectivo final seja o mesmo, a existência de um estrada consistente e segura.

Independentemente do tipo de projecto, de acordo com o referido em 2.1, existem duas fases no desenvolvimento de um projecto de traçado rodoviário onde se afigura fundamental uma análise e verificação de parâmetros que permitam a avaliação da qualidade do traçado: o estudo prévio e o projecto de execução.

A fase de estudo prévio apresenta-se como sendo a altura ideal em que se deverá avaliar de uma forma mais global e abrangente a verificação do respeito de valores mínimos de determinados parâmetros que deverão ser cumpridos no projecto, assim como, a verificação da variação de parâmetros entre elementos sucessivos de traçado, ou mesmo entre troços de estrada. Será com este nível de desenvolvimento dos estudos que se deverá detectar a existência ou não de homogeneidade do traçado, quer em alinhamento horizontal, quer em alinhamento vertical, e mesmo em termos de perfil transversal, sendo o ideal, o estudo poder ser executado em modelos tridimensionais que permitam a actuação conjunta sobre aqueles três componentes.

A fase de projecto de execução permitirá a execução de um controlo de qualidade ao nível de cada elemento do traçado, com a verificação do cumprimento individual das Normas

Regulamentares e se a sua pormenorização, quer em termos de peças desenhadas como escritas, se encontra devidamente detalhada, por forma a permitir a sua execução de uma forma precisa.

Será nesta fase onde finalmente, na posse de todos os dados de projecto já concretizados e devidamente pormenorizados, deverá ser verificada a existência de consistência ao longo dos vários elementos do traçado.

4.2 – Cruzamento entre parâmetros mínimos indicados na Norma P3/94

Antes da indicação de critérios de avaliação de traçado para os tipos de estudos de rodoviários enunciados, é interessante a realização de uma análise de cruzamento das várias condicionantes e valores mínimos indicados pela Norma P3/94, dado existirem imposições de valores para determinados parâmetros, que em certas circunstâncias por serem mais restritivos, tornam desnecessário um certo número de verificações e de cálculos subsequentes.

Nesta análise interpreta-se “elementos sucessivos” como sendo dois elementos geométricos quaisquer, que se encontrem em sequência no traçado em planta, independentemente de serem elementos rectos ou elementos curvos.

Por forma a se simplificar o estudo, este concentra-se unicamente sobre os valores de velocidade base mais utilizados na Rede Nacional: 60, 80, 100 e 120 km/h, ainda que estas duas últimas velocidades se apliquem quase exclusivamente a auto-estradas e estradas unidireccionais.

Em termos de geometria de traçado, constata-se pela observação do quadro 6 (cap. 2), que:

- para as velocidades base de 60 e 80 km/h (nos casos de IP's e IC's) os raios mínimos normais em curva indicados são revogados pela relação que os raios devem ter, com a extensão dos alinhamentos rectos que os antecedem, de modo a assegurar-se um traçado homogéneo. Assim, nestes dois casos, tendo em conta o comprimento mínimo dos alinhamentos rectos ($6 \times V_B$), em estradas de duas vias, que são respectivamente 360 e 480 metros, estes deveriam ser os valores para os raios mínimos a adoptar,

nestas circunstâncias, para as curvas em planta. Situação análoga passa-se para a velocidade base de 100 km/h no caso das OE, em que o valor do raio mínimo função da extensão do alinhamento recto é de 500 metros, valor superior ao raio mínimo absoluto indicado para esta velocidade;

- se pretender-se fazer um cruzamento entre a extensão mínima dos alinhamentos rectos e a extensão crítica dos traineis para, por exemplo, se privilegiar a distância de visibilidade, para velocidades base de 60 km/h a inclinação máxima do trainel do alinhamento recto deverá ser menor que 4% e, para velocidades base superiores a 80 km/h a inclinação deverá ser inferior a 3%;
- o respeito pela extensão mínima para alinhamentos rectos (6VB), em estradas de duas vias, numa análise exclusiva de traçado em planta (situação mais favorável), não permite à luz da actual Norma a concretização da distância de visibilidade de ultrapassagem (7VT). A diferença entre os dois mínimos é significativa, apresentando uma variação entre 200 metros de extensão para uma velocidade base de 60 km/h e 240 metros para uma velocidades base de 100 km/h. Uma possível explicação para esta diferença de valores é a de se verificar na prática que os alinhamentos curvos também contribuem para a distância de visibilidade, não pretendendo a Norma obrigar a que esta extensão se efective unicamente no alinhamento recto. Esta questão origina, quando da utilização de alinhamento rectos com extensões mínimas e caso se pretenda privilegiar a existência da distância de visibilidade de ultrapassagem, à existência de um estudo específico para a visibilidade ou, caso se pretenda uma solução segura, a utilizar para valor da extensão mínima para os alinhamentos rectos o comprimento de 7VT.

Dando a Norma P3/94 especial relevo na análise da homogeneidade de um traçado ao diagrama de velocidades específicas, fazendo um cruzamento das suas regras de concepção com valores mínimos impostos para determinados parâmetros geométricos, verifica-se que:

- se o projectista respeitar os raios mínimos absolutos ou normais (independentemente da interferência do comprimento do alinhamento recto antecedente, já referido), pelos critérios indicados na Norma para a determinação da velocidade específica, imediatamente ficam assegurados os limites de variação da velocidade específica entre elementos sucessivos (20 km/h para velocidades específicas superiores a 70 km/h) e consequentemente os critérios de homogeneidade pretendidos. No Quadro 14 é apresentada, para as várias velocidade base, uma comparação entre a velocidade

específica em recta (velocidade de tráfego) e as velocidades específicas correspondentes aos raios mínimos normais e absolutos, verificando-se que a utilização dos raios mínimos, mesmo os raios mínimos absolutos, respeita o limite máximo de variação entre velocidades específicas.

- para as velocidades base mais baixas, os respectivos raios mínimos normais originam uma velocidade específica em curva superior à velocidade, considerada como a específica, em recta, o que no mínimo se torna discutível (Quadro 14). Perante esta constatação, a verificação de um diferencial máximo de 20 km/h entre velocidades específicas de elementos geométricos sucessivos, pode ser utilizada como elemento limitador de raios máximos. No Quadro 15 é apresentada esta análise, observando-se que para as velocidades base de 60 e 80 km/h existem, perante este critério, valores máximos a adoptar para os raios de respectivamente 420 e 620 metros. O critério de limitação da variação da velocidade específica não actua como limitador do valor de raios mínimos, mas como critério de fixação de valores de raios máximos;

Quadro 14 – Comparação de VE entre recta e curvas de raio mínimo

Velocidade Base	VB	60	80	100	120
Velocidade de Tráfego	VT	80	100	120	130
Velocidade Específica em recta	VEr	80	100	120	130
Raio mínimo absoluto	RA	130	240	420	700
Velocidade Específica para RA	VE1	70	80	100	120
VEr - VE1		10	20	20	10
Raio mínimo normal	RN	250	450	700	1000
Velocidade Específica para RN	VE2	85	105	120	120
VEr - VE2		-5	-5	0	10
Raio mínimo função do Lmín da recta	R f(Lr)	360	480		
Velocidade específica para R f(Lr)	VE3	95	110		
VEr-VE3		-15	-10		

unidades: velocidade – km/h
raios - m

- numa análise entre o comprimento mínimo dos alinhamentos rectos indicado na Norma e, as distâncias de transição (DT) ao longo das quais se fará a variação da velocidade específica entre elementos de traçado sucessivos, de acordo com Quadro 16 constata-se que, para qualquer velocidade base o comprimento mínimo estabelecido para os alinhamentos rectos é sempre igual ou superior à distância de transição necessária, tornando-se assim desnecessária esta verificação. Outra constatação que se obtém de tal facto é a verificação que a velocidade de tráfego, correspondente à velocidade específica em recta, é sempre atingida em alinhamento recto.

Quadro 15 – Valores máximos de raios com base na diferença de VE

Velocidade Base	VB	60	80	100	120
Velocidade de Tráfego	VT	80	100	120	130
VT + 20 km/h		100	120	140	150
Raio máximo	RMáx	420	620	s/limite	s/limite

unidades: velocidade – km/h
raios - m

Quadro 16 – Comparação de DT com Lmín dos alinhamentos rectos

Velocidade Base	VB	60	80	100	120
Velocidade de tráfego	VT = Ve1	80	100	120	140
Variação da VE de +20km/h	Ve2	100	120	130	130
Distância de transição	DT	180	220	250	250
Dist. total transição (2 curvas)	DTx2	360	440	500	500
Comprimento mínimo da recta	Lmín	360	480	600	720

unidades: velocidade – km/h
distâncias/comprimentos - m

- a imposição da Norma do valor da distância de transição (DT) dever ser sempre inferior ao valor da respectiva distância de visibilidade de decisão (DD), através do Quadro 17

verifica-se que, sendo respeitada a variação máxima da velocidade específica, esta imposição é sempre cumprida.

Decorrente desta análise constata-se que, quando utilizados os valores mínimos estabelecidos para a geometria do traçado em planta, e desde que seja verificada a limitação de raios máximos de curvas em planta para as velocidades base de 60 e 80 km/h, não existe a necessidade de construção do diagrama de velocidades específicas, ficando de imediato assegurados os critérios de homogeneidade de traçado em planta, segundo os princípios preconizados na Norma.

Quadro 17 – Comparação de DT com DD

Velocidade Base	VB	60	80	100	120
Velocidade de tráfego	VT = Ve1	80	100	120	140
Variação da VE de -20km/h	Ve2	60	80	100	120
Distância de transição	DT	140	180	220	260
Dist. Visibilidade de decisão	DD=3.3Ve1	264	330	396	462

unidades: velocidade – km/h
distâncias/comprimentos - m

Por outro lado, num outro tipo de leitura, a realização do diagrama de velocidades específicas de um projecto de uma geometria de traçado pode servir, de uma forma muito simples, como elemento de verificação e controlo de diversos parâmetros geométricos, quer em termos do respeito de valores mínimos, quer do cumprimento da balizagem, exigida na Norma de Traçado, para a variação desses mesmos parâmetros.

Verifica-se, assim, que a Norma apresenta um certo número de cláusulas que são revogadas por outras mais abrangentes. É o caso, por exemplo, da indicação de dever existir entre duas curvas circulares sucessivas com o mesmo sentido, um alinhamento recto com uma extensão mínima igual à distância percorrida durante 5 segundos à velocidade específica correspondente ao maior dos raios, valor que é francamente inferior aos valores resultantes da indicação para o desenvolvimento mínimo dos alinhamentos rectos de 6VB. Uma explicação para tal facto pode resultar da Norma de Traçado apresentar duas vertentes

distintas, uma para aplicação a situações de melhorias e correcções de traçados existentes, em que existe a necessidade de realização de análises de elementos geométricos singulares com os elementos fronteira já existentes, e outra para estudos de traçados completamente novos. ,

Quando da execução de traçados novos a adopção dos valores mínimos e máximos indicados, implicam imediatamente a existência de um traçado com homogeneidade ao nível da variação de velocidades específicas, dando cumprimento à qualidade de circulação que o capítulo de controlo de projectos da Norma preconiza. Ficam, assim, como pontos mais importantes para o sucesso de uma estrada segura, ao nível de características geométricas, a coordenação entre o traçado em planta e em perfil longitudinal, a sua ligação ao meio ambiente, e ao nível da segurança da circulação a efectivação das distâncias de visibilidade seguras ao longo do traçado, resumindo-se tudo numa só palavra, a existência de consistência.

4.3 - Principais indicadores para o controlo de um projecto de traçado

Como já referido um projecto de traçado de uma estrada apresenta um elevado número de variáveis podendo resultar num número infinito de soluções. Assim sendo, é de toda a conveniência que um certo número dessas variáveis possam ser controladas, verificadas e balizadas segundo determinadas regras e condicionantes.

Uma das grandes dificuldades de um projecto deste tipo é a de ter de ser concebido e analisado numa perspectiva tridimensional. Apesar do estudo do traçado ser desenvolvido e apresentado em desenhos bidimensionais, a sua concepção tem que ser realizada tendo em conta o carácter tridimensional do eixo da estrada, quer em termos de assegurar geometricamente um traçado homogéneo e seguro, quer em termos de assegurar uma boa ligação com o meio envolvente promovendo assim, a sua consistência.

Os indicadores de controlo da geometria de um traçado de uma estrada, que de uma forma consensual são referenciados pelos vários autores, são o controlo dimensional dos elementos geométricos do traçado, o estudo da variação da velocidade específica/tráfego

entre elementos geométricos sucessivos e as distâncias de visibilidade, parâmetro fundamental em termos de segurança de circulação.

Outros indicadores também abordados são, entre outros, o perfil transversal, o tipo de acessibilidade lateral, e o tipo e localização de cruzamentos e intersecções, elementos que apesar de apresentarem na sua concepção muitas características subsidiárias da velocidade e da distância de visibilidade, dada a sua grande influência na qualidade de circulação, devem ser analisados e verificados individualmente.

Assim, de uma forma sistematizada, como principais indicadores de controlo da geometria de um traçado apresentam-se:

- o controlo dimensional dos elementos geométricos singulares relativamente a valores mínimos e máximos, e a verificação de algumas relações que devem existir entre elementos geométricos sucessivos. No caso de Portugal estes valores e relações estão estabelecidos na Norma P3/94 da JAE;
- o diagrama das velocidades específicas que permite a visualização da evolução da variação da velocidade específica entre os elementos do traçado, e consequentemente possibilita o controlo por via indirecta de certos parâmetros relacionados com esta velocidade;
- o diagrama de distâncias de visibilidade, permitindo uma análise de verificação dos locais que asseguram as distâncias de paragem, de decisão e de ultrapassagem, correspondendo a primeira, a um mínimo normativo absoluto para todo o traçado, e as outras a terem de ser observadas em locais específicos do traçado existindo o aconselhamento que a sua concretização se faça em determinadas percentagens do desenvolvimento do mesmo;
- a análise da localização de pontos do traçado que se sabe serem locais com elevada carga de condução, como é o exemplo das intersecções, em que além da sua localização é necessário um estudo sobre o seu número, tipo, e afastamento existente entre elas;
- a análise da existência e do tipo de acessos marginais;
- o estudo das variações do perfil transversal, nomeadamente ao nível das larguras da faixa de rodagem e das bermas, das suas características estruturais e do tipo de camada de desgaste, assim como, da componente ambiental do meio envolvente;
- adaptação do projecto ao volume, natureza e tipo de tráfego.

4.3.1 – Controlo dimensional dos elementos geométricos

O controlo dimensional dos elementos geométricos simples, através da verificação dos valores mínimos e máximos impostos pela Norma de Traçado JAE P3/94, é a primeira e mais directa atitude de controlo de um projecto de um traçado rodoviário.

Nesta verificação uma questão que se coloca é respeitante à definição do comprimento dos alinhamentos rectos e das curvas circulares, sobre a qual a Norma não é esclarecedora. Quando, num traçado em planta, se estabelece um valor mínimo ou máximo para a extensão de um destes elementos, deve-se considerar a existência, ou não, das curvas de transição? Sobre este assunto a Norma só refere, em nota, que no caso das curvas circulares para velocidades superiores a 70 km/h, a extensão mínima das curvas incluindo 50% das curvas de transição, deverá ser de 150 metros. O que pressupõe que os valores apresentados, no seu quadro resumo dos “Parâmetros fundamentais do traçado em planta” para as curvas circulares, os valores indicados referem-se estritamente às curvas circulares.

Esta questão torna-se ainda mais premente dado ser a fase de estudo prévio, em que não é habitual executar-se o estudo com um nível elevado de pormenorização, a que se apresenta como sendo a ideal para o controlo dimensional destes elementos geométricos.

Dada a curva de transição ser um elemento que se insere metade em alinhamento recto e metade em curva circular, tornando-se o elemento de ligação entre ambos, onde se realiza a variação dos parâmetros de uma recta para os de uma curva circular, apresentando características próximas de recta ou de curva circular consoante se está perto de cada uma delas, no presente trabalho considera-se que os valores mínimos e máximos dos comprimento dos elementos do traçado em planta, devem ser considerados sem ter em linha de conta a futura existência de curvas de transição, ressaltando-se o caso específico indicado na Norma e já referido.

O controlo dos elementos geométricos deverá incidir sobre:

- traçado em planta;
- traçado em perfil longitudinal;
- coordenação do traçado em planta e perfil longitudinal;
- perfil transversal.

No traçado em planta deverão ser verificados:

- a orientação dos alinhamentos rectos, devendo-se evitar orientações nascente/poente por forma a evitar o encadeamento solar, e ter em atenção a existência de ventos dominantes; (EN125)
- nos alinhamentos rectos o respeito pelo desenvolvimento mínimo e máximo, ainda que este último subordinado à existência de um inclinação longitudinal constante;
- nas curvas circulares, o cumprimento dos raios mínimos e máximos, o desenvolvimento mínimo, e a relação entre raios de curvas circulares sucessivas;
- em fase de projecto, nas curvas de transição, o respeito do valor mínimos do parâmetro das clotóides, a relação do valor deste parâmetro com o raio da curva circular, a relação entre os parâmetros das duas clotóides de uma mesma curva circular, e a balizagem que deve existir entre a soma do desenvolvimento das duas clotóides e a extensão da curva circular.

No traçado em perfil longitudinal deverão ser verificados:

- relativamente aos traineis, o respeito da inclinação máxima e mínima e a extensão máxima;
- a extensão crítica de cada trainel, análise importante para a decisão de inclusão de vias adicionais;
- nas concordâncias verticais o cumprimento dos raios e desenvolvimentos mínimos;
- nas zonas das concordâncias verticais em que a inclinação longitudinal é inferior a 0.5%, a existência de inclinação lateral suficiente para drenagem das águas pluviais, além da verificação dessas zonas não coincidirem com os locais de disfarce da sobrelevação;
- inclinação mínima em curva;
- a existência de condições que justifiquem o projecto de vias adicionais quer em rampa quer em declive, o que pressupõe um estudo por sentido de circulação;
- a existência de condições que obriguem à execução de escapatórias, estudo que deve também ser efectuada por sentido de circulação.

No que concerne à coordenação do traçado em planta e perfil longitudinal, deve ser tido em atenção que:

- a sobreposição de curvas em planta com curvas em perfil deve ser executada de uma forma criteriosa, não se devendo fazer coincidir curvas verticais de pequeno desenvolvimento com curvas horizontais. Em caso de sobreposição, as curvas verticais

deverão ter grande desenvolvimento, procurando-se que exista coincidência de bissectrizes entre as curvas em planta e perfil;

- devem ser evitadas curvas de raios próximos dos mínimos na sequência de grandes alinhamentos rectos;
- deve ser evitada a colocação de traneis de pequena extensão entre duas concordâncias côncavas;
- a existência em perfil de lombas de pequeno desenvolvimento origina uma perda visual do traçado;
- o início de curvas circulares em planta após uma concordância vertical convexa, leva a que o condutor, nesse sentido de circulação, não se aperceba da existência da curva em planta;
- o início de uma curva circular em planta após uma concordância vertical côncava, provoca uma perda visual de traçado (indicando a Norma que nestes casos R_v deve ser $\geq 6R$);
- o início de uma curva vertical côncava após uma curva circular em planta, provoca uma quebra de traçado e o estreitamento óptico da estrada. Nestes casos deverá existir coincidência das duas curvas;
- as curvas verticais côncavas devem coincidir com curvas circulares em planta, atendendo-se no caso da curva circular ser de grande raio, que o raio da curva vertical seja o maior possível, por forma a não provocar uma quebra de traçado.

No perfil transversal devem ser verificadas:

- a largura das vias, função da classificação da estrada e da velocidade base;
- a largura das bermas e respectivas concordâncias, função do tipo de estrada;
- a distância de desobstrução lateral mínima;
- o tipo de valeta adoptado e o tipo de drenagem que é permitida à estrutura do pavimento;
- a necessidade de existência de sobrelarguras nas curvas circulares;
- a inclinação transversal;
- as sobrelevações das curvas em planta e respectivas zonas de transição;
- os critérios de colocação de guardas de segurança.

4.3.2 – Diagrama de velocidades específicas

O diagrama de velocidades específicas, como já referido, segundo a Norma P3/94 é o principal elemento de controlo da homogeneidade do traçado, contribuindo o seu estudo para a procura da existência de consistência numa estrada.

A construção deste diagrama permite a análise da velocidade específica em cada elemento geométrico singular e o estudo da sua variação entre elementos sucessivos, assim como a verificação da existência de distâncias mínimas de adaptação para a variação de velocidades. Para isso, a Norma limita o valor máximo do diferencial de velocidades específicas entre elemento sucessivos e atribui valores mínimos para as distâncias de transição. Estas distâncias, por sua vez, devem ser inferiores às distâncias de visibilidade de decisão, por forma a que o condutor se possa aperceber do elemento geométrico seguinte e ainda tenha tempo de actuar em conformidade, adaptando-se à nova realidade.

O cumprimento das regras impostas na Norma Portuguesa origina um traçado em planta, em que o condutor consegue percorrer a estrada às velocidades específicas permitidas por cada elemento, praticamente sem necessidade de utilização do sistema de travagem da viatura. Isto sob o ponto de vista teórico, dado a Norma só entrar em linha de conta, para a construção do diagrama das velocidades específicas, com o traçado em planta.

A filosofia que se subentende da Norma de Traçado, quando da execução de um projecto de um traçado novo, é a seguinte:

- convencionando que nos alinhamentos rectos e curvas de transição a sua velocidade específica é a velocidade de tráfego, ao fixar-se para um projecto uma velocidade base, imediatamente fica definida uma velocidade de tráfego e consequentemente as velocidades específicas em recta e curvas de transição;
- ao limitar a variação da velocidade específica entre elementos sucessivos, para velocidades específicas superiores a 70 km/h a ± 20 km/h e ± 10 km/h nos restantes casos;
- exigindo que exista sempre entre duas curvas circulares em planta um alinhamento recto com um desenvolvimento mínimo que, como já se verificou (Quadro 16), é sempre igual ou superior às distâncias de transição máximas, verificando-se que a velocidade específica em recta é sempre atingida;

- tem como consequência, que nestes pressupostos, a velocidade específica da estrada em estudo só irá variar entre ± 20 km/h da velocidade de tráfego, pois que a seguir a cada curva se regressa à velocidade específica (velocidade de tráfego) da recta, conseguindo assim a homogeneidade pretendida.

O problema que se coloca é de, nestes pressupostos de realização do diagrama de velocidades específicas, dado só ser analisado o traçado em planta, para o qual a Norma impõe valores mínimos para os elementos geométricos, e verificando-se que estes já estão de acordo com os critérios de variação das velocidades específicas, como já foi demonstrado em 4.2, o cumprimento daqueles mínimos leva a que o diagrama de velocidades específicas deixe, para projectos de novos traçados, de ter significado. O cumprimento dos critérios mínimos da geometria do traçado em planta, complementada com a verificação da limitação dos raios máximos das curvas em planta para as velocidades base de 60 e 80 km/h, elimina imediatamente a necessidade de realização do diagrama de velocidades específicas.

Uma outra forma de abordagem, também já referida em 4.2, é a da realização do diagrama de velocidades específicas para estudos de novos traçados, como elemento de verificação e controlo do traçado em planta, já que o não cumprimento do limite de variação da velocidade específica entre dois elementos sucessivos, ou a não concretização das distâncias de transição, são indicação de que existem valores mínimos para a geometria do traçado em planta que não foram respeitados.

Por sua vez, no caso de estradas existentes este diagrama é um elemento muito útil de estudo da localização de pontos negros de traçado, dado estes estarem normalmente associados a locais com variações bruscas, e de valores elevados, de velocidades específicas. A construção deste diagrama permitirá o levantamento destas situações, tornando-se posteriormente, também um precioso critério de comparação entre futuras soluções alternativas de obras de melhoramento.

Verifica-se assim, que no caso de estudos da homogeneidade de traçados de novas estradas, o diagrama de velocidades específicas determinado segundo as regras definidas na Norma é demasiado simplista, ficando o projectista com a nítida sensação que, sendo uma área de estudo fundamental para a melhoria de circulação e segurança das estradas,

carece de um aprofundamento e desenvolvimento, nomeadamente pela introdução na sua concepção das características do traçado em perfil longitudinal, do perfil transversal, e de outros parâmetros que influenciam directamente a velocidade.

O diagrama de velocidades específicas adoptado pela Norma Portuguesa, apesar de designado como tal é um diagrama misto, no sentido em que utiliza para as curvas circulares velocidades específicas, determinadas por critérios de segurança, e utiliza para os alinhamentos rectos, como representativa da velocidade específica, a velocidade de tráfego, que teoricamente corresponde a uma velocidade associada a critérios reais de circulação, situação resultante da dificuldade de cálculo de velocidades específicas para alinhamentos rectos.

Por seu lado, na análise efectuada em 3.3.3.2 (Quadro 8 e Figura 3), constatou-se que nas curvas circulares existem diferenças significativas entre as velocidades específicas e as velocidades de tráfego resultantes dos vários modelos apresentados, onde se verificou que os condutores assumem um maior risco em curvas de pequeno raio, em que a V_{85} é superior à velocidade específica, passando-se o contrário em curvas de grande raio.

Consequência destes factos, vários autores têm preferido a realização de diagramas de velocidades de tráfego, apresentando modelos para a determinação de velocidades de tráfego, quer em curvas circulares, quer em rectas, alguns dos mais significativos apresentados em 3.3.2. Por ser um dos modelos mais completos, em termos de parâmetros intervenientes e principalmente por ter sido desenvolvido em Portugal e como tal adaptado à realidade portuguesa, em 3.3.3 foi apresentado um modelo de velocidades estudado por Cardoso, J.P. (1996), onde há uma procura de caracterização da velocidade, quer para alinhamentos rectos, quer para curvas circulares, função não só do traçado em planta, mas também do perfil longitudinal e transversal.

Como exemplo da importância de dois parâmetros que a Norma não entra em linha de conta, como a extensão do alinhamento recto e a declividade do troço, utilizando o modelo de Cardoso, J.P. (1996), verifica-se que para uma velocidade base de 80 km/h, uma recta de desenvolvimento mínimo regulamentar de 480 m com um declividade agregada de 60 m/km, como se verifica nos Quadros 9 a 12, apresenta um V_{85} inferior a 20 km/h do que uma recta com um desenvolvimento de 20 vezes a velocidade base (1600 metros) com uma

declividade agregada de 10 m/km. Por sua vez este diferencial de 20 km/h da velocidade em recta é responsável por uma diferença de cerca de 7 km/h de velocidade específica na curva circular seguinte.

Neste exemplo atingem-se diferenças de velocidades para o mesmo elemento geométrico, da mesma ordem de grandeza do limite máximo de variação de velocidades permitido pela Norma entre elementos sucessivos.

Não com variações tão elevadas, mas também muito importante até porque pode dar origem a valores cumulativos com os anteriores, a largura da faixa de rodagem e largura da berma também apresentam no modelo de velocidades em recta uma influência significativa. Um aumento da largura da faixa de rodagem de 0.5 metros corresponde sensivelmente a um aumento da velocidade em recta de 4 km/h. No mesmo modelo, um aumento da largura da berma de 0.5 metros corresponde a um aumento da velocidade de cerca de 2km/h.

Já em curva a variação da largura da faixa de rodagem diminui a sua influência, passando a diferença de velocidades por cada 0.5 metros de aumento a ser inferior a 1km/h, não tendo a largura da berma interferência significativa, o que é perfeitamente lógico dado se constatar que o desvio padrão das velocidades em curva é inferior ao verificado em alinhamento recto. Em curva, este modelo mais uma vez comprova que, o parâmetro mais influente na sua velocidade específica é o raio em planta, ao qual se segue o comprimento do alinhamento recto anterior.

Apesar de este modelo e a Norma não serem directamente comparáveis, dado estar-se a analisar velocidades com significados base diferentes, é de todo o interesse que se faça uma comparação directa entre eles.

EXEMPLO

Para a realização de uma análise comparativa de velocidades entre este modelo e a Norma, pode-se socorrer de um exemplo de um traçado de uma estrada com uma velocidade base de 60 km/h, apresentando um perfil transversal tipo com uma largura de faixa de rodagem de 7 metros e uma largura de berma de 2.5 metros, numa sequência de recta – curva – recta com as seguintes características geométricas:

- recta com 1200m de extensão, com uma declividade de 20 m/km e uma curvatura média no sentido 1 nula;

- curva de 250m de raio com um desenvolvimento de 200m;
- recta com 360m de extensão, existindo uma declividade de 60 m/km e com uma curvatura média no sentido 2 de 90º/km.

Segundo a Norma, nesta situação o diagrama de velocidades específicas, independente do sentido, apresenta uma sequência de velocidades específicas de 80 km/h para a recta, seguido de 85 km/h para a curva, passando a 80 km/h novamente em recta, existindo um diferencial de velocidades de 5 km/h, sendo o valor maior em curva.

Pela aplicação do modelo de Cardoso J.P. (1996) duas situações distintas se colocam, na sequência recta - curva:

- no sentido 1, considerando-se a totalidade dos veículos, obtêm-se:

$$V_{85}(\text{recta}) = 37.1 + 12.1 - 3.8 + 63.6 + 4.8 = 113.8 \text{ km/h}$$

$$V_{85}(\text{curva}) = 61.8 - 27.4 + 40.0 + 21.4 + 4.4 = 100.2 \text{ km/h}$$

existindo uma diferença de velocidades de 13.6 km/h.

- no sentido 2, nas mesmas circunstâncias, tem-se:

$$V_{85}(\text{recta}) = 37.1 - 4.1 + 3.6 - 11.4 + 63.6 + 4.8 = 93.6 \text{ km/h}$$

$$V_{85}(\text{curva}) = 61.8 - 27.4 + 32.9 + 21.4 + 4.4 = 93.1 \text{ km/h}$$

existindo uma diferença de velocidades de 0.5 km/h, ou seja, praticamente nulo.

Com este exemplo, algumas constatações e conclusões podem ser retiradas:

- constata-se que a velocidade em curva do modelo, como anteriormente referido, é fortemente influenciada pela velocidade praticada no alinhamento recto que a antecede. Neste exemplo o diferencial de velocidade em curva, entre cada um dos sentidos de circulação, cifra-se nos 7.1 km/h;
- para esta gama de velocidades base, o modelo realizado segundo a recolha de dados em cenário real, leva à obtenção de velocidades bastante superiores às da Norma quer para recta, quer para curva, o que está de acordo com o já referido para o caso em

curva, constatando-se que os parâmetros considerados na definição das condições de segurança, nomeadamente o coeficiente de atrito, estão pelo lado da segurança sendo bastante conservativos;

- verifica-se no exemplo que o diferencial, no sentido 1, entre a velocidade em curva e em recta é superior ao valor resultante da aplicação da Norma, mantendo-se, no entanto, dentro dos limites regulamentares, mas tendo como consequência que a utilização do modelo levará a maiores distâncias de transição.

Verifica-se pois, ser de toda a vantagem que exista uma evolução normativa na definição dos critérios de construção do diagrama de velocidades por forma a torná-lo mais representativo, nomeadamente pela introdução na sua concepção, da influência de certos parâmetros que interferem na velocidade de cada elemento geométrico, e mais importante ainda, no diferencial de velocidades entre elementos sucessivos.

Esta evolução, como indiciam os exemplos apresentados, pode ser efectuada pela substituição do diagrama das velocidades específicas por um diagrama de velocidades de tráfego (V_{85}), mais representativas da realidade, com a possibilidade de poder ser directamente relacionada com a variação de certos parâmetros da geometria do traçado ou da própria envolvente da estrada.

Um desenvolvimento do estudo do diagrama das velocidades neste sentido obrigaria a uma redefinição do conceito de velocidade de tráfego indicado na Norma, não pela sua definição, mas pela sua indexação à velocidade base.

Caso se pretenda que nas curvas circulares a velocidade a adoptar num diagrama de velocidades seja a velocidade específica determinada por critérios de segurança, que é uma opção defensável, em recta não se deveria adoptar por uma velocidade de tráfego indexada à velocidade base, mas sim uma velocidade de tráfego que reflectisse melhor as condições de aproximação à curva, resultando certamente diferenciais de velocidade entre esses elementos muito diferentes dos que resultam da Norma actual.

Mantendo-se a posição definida no parágrafo anterior para os alinhamentos rectos, outra solução mais conservativa, mas que conduz a uma maior aproximação do diagrama de velocidades à realidade seria a adopção das velocidades específicas, tal como definidas na

Norma, para curvas circulares de raios inferiores a 400 metros e a utilização para curvas de raio superior um modelo de velocidades de tráfego.

Uma outra evolução na análise das velocidades, para a qual deve de ser dada atenção, é relativa ao estudo do diagrama de velocidades por categorias de veículos, nomeadamente entre veículos ligeiros e veículos pesados. A própria Norma de Traçado, aponta para a importância que tem a variação de velocidades entre estas duas classes de veículos, existindo autores que afirmam ser mais importante a diminuição desse diferencial que a diminuição da velocidade média.

4.3.3 – Distâncias de visibilidade

Seguindo-se à velocidade, a distância de visibilidade é o outro parâmetro fundamental à segurança de circulação, apresentando-se como um elemento definidor da qualidade do serviço fornecido pela estrada. Como referido em 2.3.2, a distância de visibilidade é um dos indicadores mais importantes que consubstanciam a existência de consistência numa estrada, nomeadamente pela sua influência na concentração pedida ao condutor.

O estudo das distâncias de visibilidade, deverá assim, como elemento influenciador na elaboração da geometria da estrada, ser realizado logo na fase de estudo prévio, se possível através de uma metodologia simples e directa, que permita rapidamente realçar os pontos negros do traçado, não só em termos de visibilidade mínima para paragem, mas também em termos de locais em que é necessária a distância de visibilidade de decisão. Deverá igualmente permitir facilmente a determinação das zonas com possibilidade de ultrapassagem, podendo-se assim verificar qual a percentagem da estrada com possibilidade de execução desta manobra, o seu afastamento e a sua regularidade.

A estudo das distâncias de visibilidade, principalmente em estradas de duas vias, representa um indicador muito importante no controlo de qualidade de um traçado, devendo ter um tratamento idêntico ao estudo desenvolvido para as velocidades específicas.

Esta análise deverá ser efectuada num estudo em 3 dimensões com uma verificação conjunta, do traçado em planta, do perfil longitudinal e do perfil transversal, além de ter, tal

como o diagrama de velocidades específicas, de ser realizada de forma independente para cada um dos dois sentidos de circulação.

A construção de um diagrama de distâncias de visibilidade permitirá:

- fazer a verificação se está assegurada em toda a extensão do troço em estudo a distância de visibilidade de paragem;
- localizar quais os locais e em que extensões se verificam as distâncias de visibilidade de decisão e de ultrapassagem;
- definir as zonas onde irá existir autorização de ultrapassagem apresentando-se como elemento fundamental para a decisão da necessidade de adopção de vias adicionais para esse fim;
- o melhor estudo para a localização de nós de ligação e intersecções, ou caso estas estejam em locais inalteráveis condicionará o traçado para que nesses locais seja cumprido, no mínimo, a distância de visibilidade de decisão;
- a realização do projecto de sinalização horizontal e vertical com base num elemento fundamental que permitirá de uma forma simplificada atender ao carácter tridimensional da estrada.

A construção de um diagrama, ou perfil, de distâncias de visibilidade é um problema complexo. Expressar matematicamente, a variação da distância de visibilidade que o condutor tem ao longo de um traçado é um problema em que intervêm múltiplas variáveis, como a geometria do traçado em planta e em perfil longitudinal, o perfil transversal tipo, a localização dos perfis visíveis, se em aterro ou em escavação, as distâncias de desobstrução lateral, a existência de passagens superiores, etc.

Dado este estudo ser condicionante para a eleição da solução a adoptar para a geometria do traçado, deverá preferencialmente ser concretizado logo em fase de estudo prévio, pelo que a metodologia para a sua realização terá que se apresentar como um conjunto de regras e princípios de aplicação simples e o mais directa possível.

Assim, atendendo ao carácter tridimensional que se pretende que o diagrama reflecta, a metodologia que se propõe será num primeiro passo a construção de um diagrama de distâncias de visibilidade unicamente para o traçado em planta, em que intervêm a geometria do traçado em planta e o perfil transversal, numa segunda fase a realização de

um outro diagrama independente tendo em consideração somente as condicionantes impostas pelo traçado em perfil longitudinal, seguindo-se como último passo, a sobreposição dos dois diagramas, permitindo a construção de um perfil de valores mínimos de visibilidade para cada ponto do traçado função da planta, perfil longitudinal e transversal.

4.3.3.1 – Diagrama de visibilidade do traçado em planta

Os principais elementos condicionadores da visibilidade num traçado em planta são os alinhamentos curvos. Numa curva em planta, a visibilidade é função não só do raio da curva como da distância existente de desobstrução lateral no intradorso da curva, valor de fácil determinação conhecendo-se o perfil transversal tipo para o perfil em escavação. Este valor, juntamente com o raio da curva do eixo da via de circulação permitirá através da expressão (1), utilizada pela Norma de Traçado, determinar a distância de visibilidade em curva:

$$DV_c = \sqrt{8 * R_e * H_c} \tag{55}$$

em que:

- DV_c – distância de visibilidade numa curva circular em planta (m)
- R_e – raio da curva do eixo da via de circulação (m)
- H_c – distância de desobstrução lateral (m)

Quadro 18 – Distâncias de desobstrução mínimas

Velocidade Base (km/h)	60	80	100	120	140
Velocidade de Tráfego (km/h)	80	100	120	130	140
Raio mínimo normal – RN (m)	250	450	700	1000	1400
Distância de paragem – DP (m)	120	180	250	320	390
H _c = DP ² / 8R (m)	7.2	9.0	11.2	12.8	13.6

Sobre a questão da visibilidade em curva, convém realçar os valores indicados no quadro (18), em que para ser garantida a distância de visibilidade de paragem, em curvas com

valores de raios em planta perto dos raios mínimos normais, para velocidades base elevadas, a distância de desobstrução começa a ter influência muito significativa na definição do perfil transversal tipo das secções em escavação.

Como exemplo pode-se apresentar um perfil transversal tipo com uma faixa de rodagem de 7.5m, mais uma berma pavimentada de 2.5m, em perfil de escavação com uma valeta de 1.2m de largura, permite uma distância de desobstrução em curva de 7.2m, medidos do eixo da via interior ao talude de escavação. Esta distância corresponde à distância de desobstrução mínima numa curva de raio mínimo normal, para uma velocidade base de 60 km/h, o que é muito limitativo.

Numa recta, a distância de visibilidade num determinado ponto e sentido de circulação, compreende o comprimento da recta que falta percorrer, mais um troço da curva circular.

Conforme se pode verificar através da figura 4, o comprimento da parte visível da curva, para o condutor que se encontra a percorrer um alinhamento recto, varia entre metade da distância de visibilidade em curva para um condutor situado teoricamente a uma distância infinita da curva, e a distância de visibilidade em curva para um condutor situado no ponto de tangência da recta com a curva. A variação do troço visível em curva não é linear, sendo função da distância do condutor ao ponto de tangência da recta com a curva.

O cálculo analítico da distância de visibilidade em recta pode ser realizado, de acordo com a construção geométrica representada na Figura 5, através da verificação do ponto de tangência da visada (x,y) pertencer à circunferência de raio $R_{vi}-H_c$ e à condição de perpendicularidade entre os vectores (x,y) e $(R_{vi}-x, -l_{recta}-y)$.

A resolução do sistema:

$$x^2 + y^2 = (R_{vi} - H_c)^2$$

$$(x, y) \cdot (R_{vi} - x, -l_{recta} - y) = 0$$

equivalente a:

$$x^2 + y^2 = (R_{vi} - H_c)^2$$

$$x(R_{vi} - x) + y(-l_{recta} - y) = 0$$

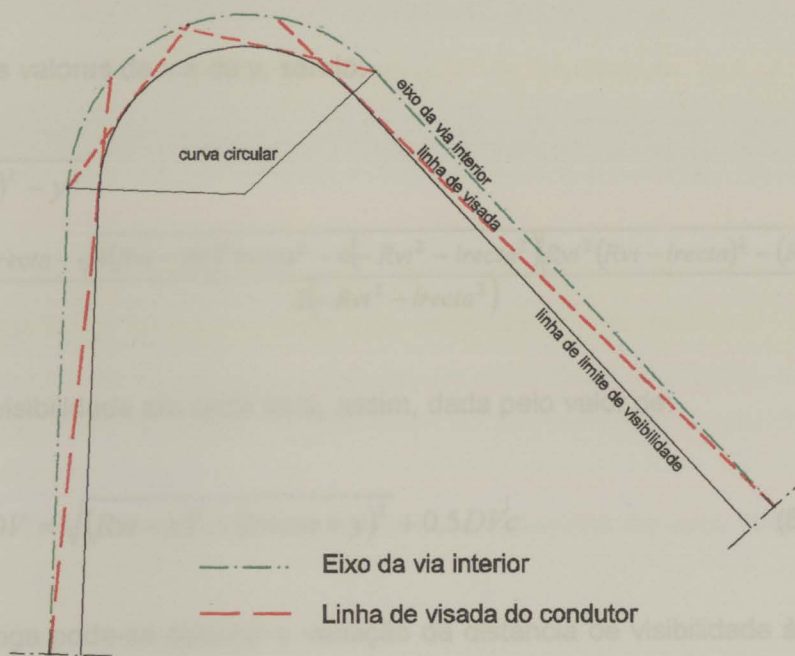


Figura 4 - Distâncias de visibilidade no traçado em planta

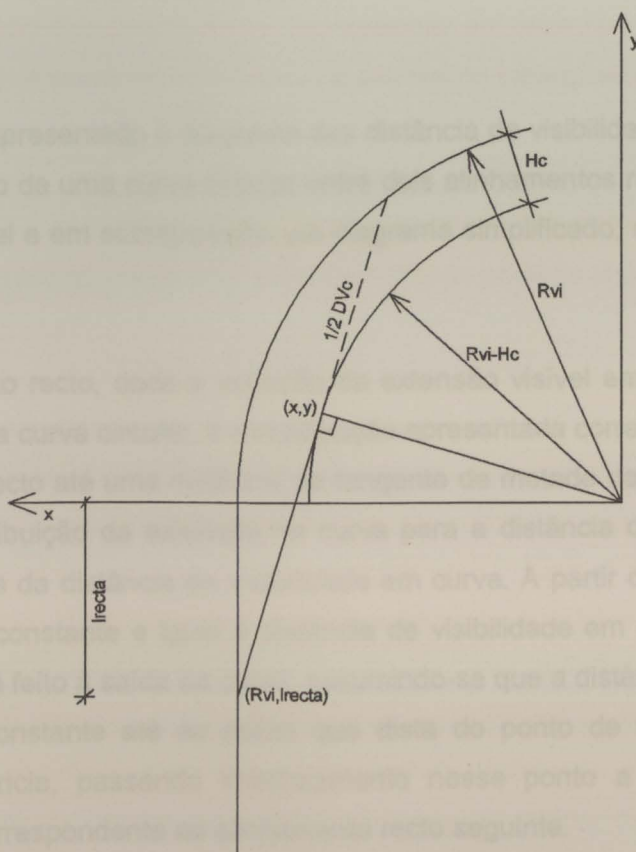


Figura 5 - Construção geométrica para cálculo da distância de visibilidade em recta

permite obter os valores de x e de y, sendo:

$$x = \sqrt{(R_{vi} - H_c)^2 - y^2}$$

$$y = \frac{2(R_{vi} - H_c)^2 l_{recta} - \sqrt{4(R_{vi} - H_c)^4 l_{recta}^2 - 4(-R_{vi}^2 - l_{recta}^2)(R_{vi}^2(R_{vi} - l_{recta})^2 - (R_{vi} - l_{recta})^4)}}{2(-R_{vi}^2 - l_{recta}^2)}$$

a distância de visibilidade em recta será, assim, dada pelo valor de:

$$DV = \sqrt{(R_{vi} - x)^2 + (l_{recta} + y)^2} + 0.5DV_c \quad (56)$$

De forma análoga pode-se calcular a variação da distância de visibilidade à saída da curva circular, em que a visibilidade varia (figura 4) desde a distância de visibilidade da curva circular, num ponto em curva afastado da tangente de saída precisamente da distancia de visibilidade em curva, até à distância de visibilidade permitida pela recta seguinte num ponto ainda em curva à distância da tangente de saída de metade da distância de visibilidade da curva circular.

Na figura 8 é apresentado o diagrama das distância de visibilidade para o traçado em planta para a situação de uma curva circular entre dois alinhamentos rectos, estando representado o diagrama real e em sobreposição um diagrama simplificado, encontrando-se este do lado da segurança.

No alinhamento recto, dada a variação da extensão visível em curva só ter significado na proximidade da curva circular, a simplificação apresentada corresponde a assumir-se que no alinhamento recto até uma distância da tangente de metade da distância de visibilidade em curva, a contribuição da extensão da curva para a distância de visibilidade é constante e igual a metade da distância de visibilidade em curva. A partir daquele ponto a distância de visibilidade é constante e igual à distância de visibilidade em curva. Idêntico raciocínio de simplificação é feito à saída da curva, assumindo-se que a distância de visibilidade em curva se mantém constante até ao ponto que dista do ponto de tangência da curva metade daquela distância, passando imediatamente nesse ponto a verificar-se a distância de visibilidade correspondente ao alinhamento recto seguinte.

Como se viu o cálculo correcto das distâncias de visibilidade obriga à resolução de expressões extensas e complicadas, que para a fase de estudo em que se quer realizar o diagrama de visibilidade, não se justifica.

Há ainda que referir, que por este mesmo motivo não se introduziu neste estudo as curvas de transição que iriam complicar ainda mais este cálculo. Na realidade, a introdução das curvas de transição irá aumentar a distância de visibilidade à entrada e saída da curva circular, tendo como efeito prático o adoçamento do diagrama real nesses pontos.

O diagrama simplificado, para o traçado em planta, permite de uma forma muito simples ficar-se, pelo lado da segurança, com uma indicação já muito aproximada das distâncias reais de visibilidade permitidas pela geometria do traçado em planta.

Para a sua realização unicamente é necessário saber:

- nos alinhamentos rectos o seu desenvolvimento;
- nos alinhamentos curvos, o seu desenvolvimento, os valores dos raios para determinação das distâncias de desobstrução em cada curva e cálculo das distâncias de visibilidade, e saber-se se o perfil transversal no intradorso da curva circular se encontra em escavação ou em aterro.

Posteriormente a aplicação das regras enunciadas na figura 8, todas função da distancia de visibilidade em curva, permitem a determinação do perfil de visibilidade em planta.

Verifica-se assim, que a distância máxima de visibilidade de um alinhamento recto situado entre duas curvas circulares, tendo em conta unicamente o traçado em planta, corresponde à sua extensão mais a soma de metade das distâncias de visibilidade das duas curvas que o enquadram, verificando-se num ponto da curva anterior situado a metade da distância de visibilidade dessa curva ao ponto de tangência com a recta.

Deve-se ter em atenção que, para uma mesma curva, a distância de visibilidade é diferente para os dois sentidos de circulação, dado que a distância de desobstrução é função do raio da via de circulação e este varia consoante o sentido de circulação. Caso se pretenda simplificar, pode-se utilizar unicamente o raio da via interior como valor de cálculo para os dois sentidos, caso que penalizará a visibilidade nas curvas à esquerda.

4.3.3.2 – Diagrama de visibilidade para o traçado em perfil longitudinal

Na realização do diagrama de visibilidade para o traçado em perfil longitudinal, o principal elemento limitador da visibilidade, e como tal influenciador deste parâmetro, é a sequência de traneis que necessitam na sua ligação de concordâncias convexas.

Por sua vez, o principal parâmetro interveniente no cálculo dos valores dos raios mínimos normativos das concordâncias convexas são as distâncias de visibilidade, nomeadamente a distância de visibilidade de paragem.

O cálculo da distância de visibilidade em concordâncias convexas pode ser determinado através da expressão de cálculo do raio mínimo da concordância:

$$R = \frac{DV_{cc}^2}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} \quad (57)$$

em que: DV_{cc} – distância de visibilidade da concordância convexa (m)

R – raio mínimo da concordância convexa (m)

h_1 – altura dos olhos do condutor ao plano da estrada, fixado em 1.05m

h_2 – altura do obstáculo em relação ao plano da estrada, fixado em 0.15m

resultando que:

$$DV_{cc} = \sqrt{3.98745R} \quad (58)$$

Esta fórmula de cálculo da distância de visibilidade pode ser alterada de acordo com os objectivos pretendidos, fazendo-se variar para isso a altura do obstáculo. Numa estrada de faixa de rodagem com dois sentidos de circulação, por questões de segurança, pode-se optar por utilizar $h_1 = h_2 = 1.05$ m, devendo-se em termos de análise, definir a distância de visibilidade como o dobro da distância de paragem. Neste caso a distância de visibilidade será:

$$DV_{cc} = \sqrt{8.4R} \quad (59)$$

Neste caso, como de seguida se verificará, haverá que se ter o cuidado de adaptar o diagrama de visibilidade que cairá numa metodologia e regras de execução iguais ao de uma curva circular em planta.

No cálculo das concordâncias verticais é aceite ser utilizada a expressão:

$$y = CI + i_1 x - \frac{x^2}{2R} \quad (60)$$

em que: x – distância, na horizontal, de um ponto da concordância ao seu início (m)

y – cota do ponto x (m)

CI – cota do ponto inicial da concordância (m)

i_1 – inclinação do trainel de entrada (m/m)

R – raio mínimo da concordância (m)

cuja segunda derivada é uma constante, $y'' = -\frac{1}{R}$, verificando-se assim que se está perante uma curva com uma variação de inclinação constante, ou seja de uma curva circular, simplificação utilizada e aceite de uma forma generalizada.

Perante isto, observa-se que se está numa situação idêntica à de uma curva circular em planta, e que como tal pode ser alvo, na determinação do diagrama de distâncias de visibilidade, de um tratamento similar ao verificado no estudo desenvolvido para o traçado em planta.

Através das figuras 6 e 7 verifica-se que a principal diferença na comparação com o traçado em planta, reside no facto da existência de uma diferença de alturas entre o posicionamento dos olhos do condutor (1.05 m) e do objecto visado (0.15 m).

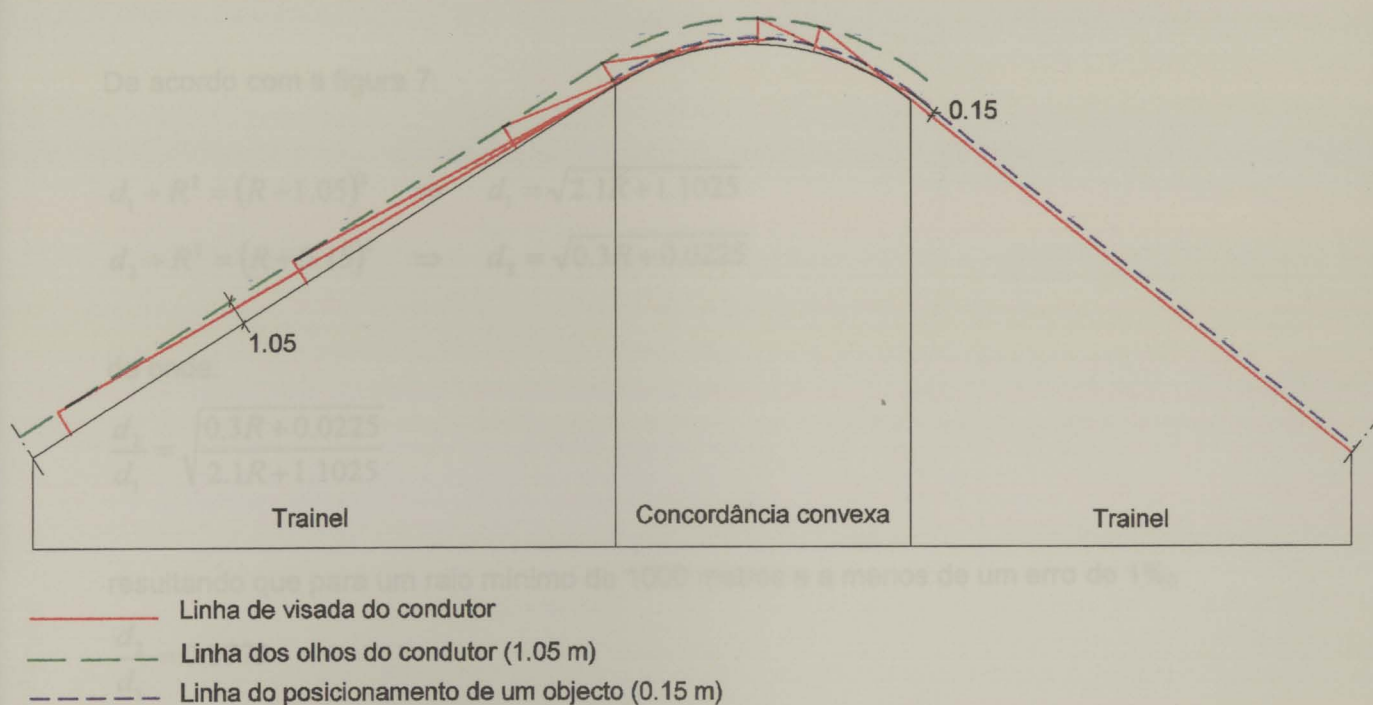


Figura 6 - Distâncias de visibilidade no traçado em perfil longitudinal

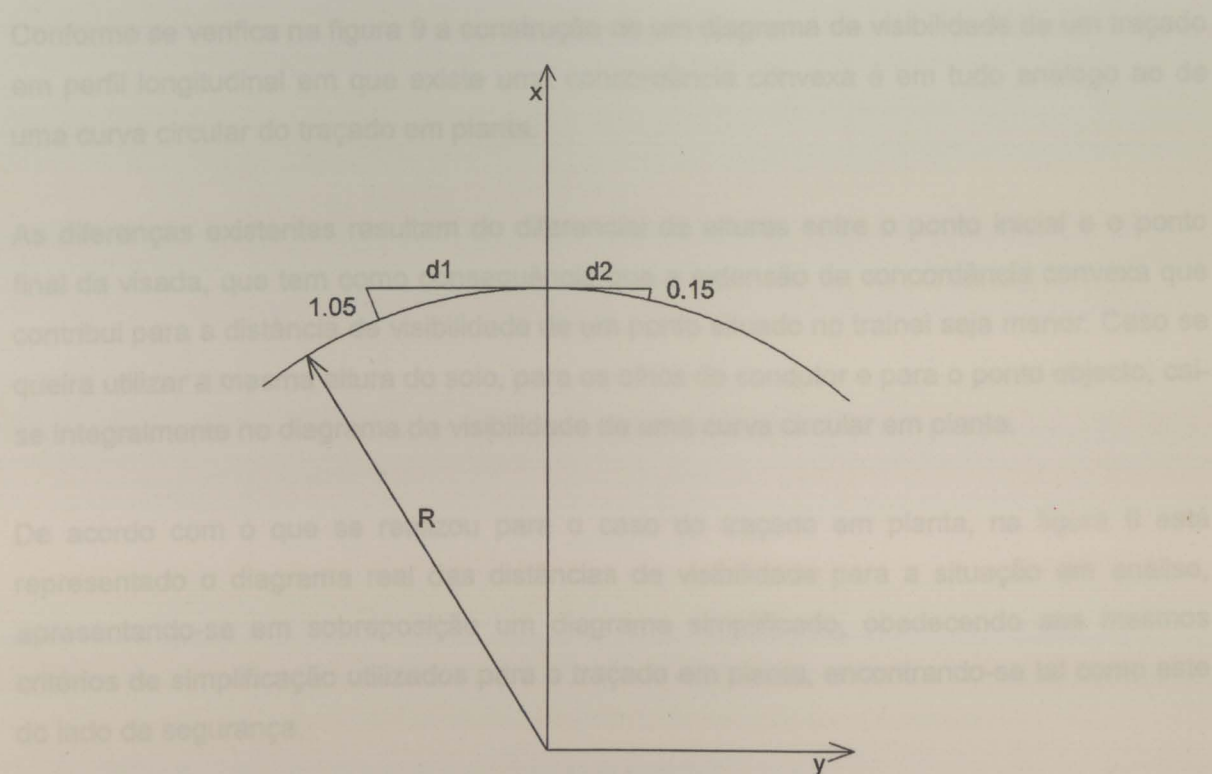


Figura 7 - Construção geométrica da distância de visibilidade numa concordância convexa

De acordo com a figura 7:

$$d_1 + R^2 = (R + 1.05)^2 \Rightarrow d_1 = \sqrt{2.1R + 1.1025}$$

$$d_2 + R^2 = (R + 0.15)^2 \Rightarrow d_2 = \sqrt{0.3R + 0.0225}$$

de onde:

$$\frac{d_2}{d_1} = \sqrt{\frac{0.3R + 0.0225}{2.1R + 1.1025}}$$

resultando que para um raio mínimo de 1000 metros e a menos de um erro de 1%,

$$\frac{d_2}{d_1} = 0.3779$$

correspondendo assim, a d_1 uma percentagem da distância de visibilidade de 72.5% e a d_2 a restante percentagem de 27.5%.

Conforme se verifica na figura 9 a construção de um diagrama de visibilidade de um traçado em perfil longitudinal em que existe uma concordância convexa é em tudo análogo ao de uma curva circular do traçado em planta.

As diferenças existentes resultam do diferencial de alturas entre o ponto inicial e o ponto final da visada, que tem como consequência que a extensão da concordância convexa que contribui para a distância de visibilidade de um ponto situado no trainel seja menor. Caso se queira utilizar a mesma altura do solo, para os olhos do condutor e para o ponto objecto, cai-se integralmente no diagrama de visibilidade de uma curva circular em planta.

De acordo com o que se realizou para o caso do traçado em planta, na figura 9 está representado o diagrama real das distâncias de visibilidade para a situação em análise, apresentando-se em sobreposição um diagrama simplificado, obedecendo aos mesmos critérios de simplificação utilizados para o traçado em planta, encontrando-se tal como este do lado da segurança.

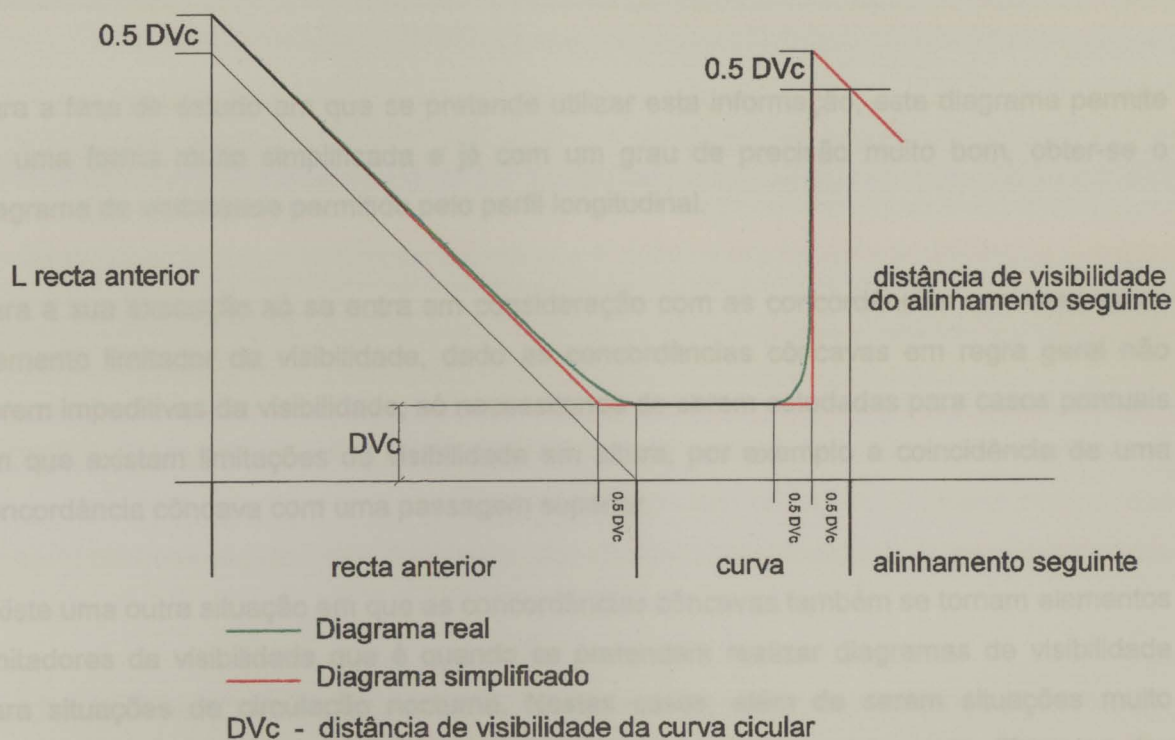


Figura 8 - Diagrama de distâncias de visibilidade - curva circular em planta

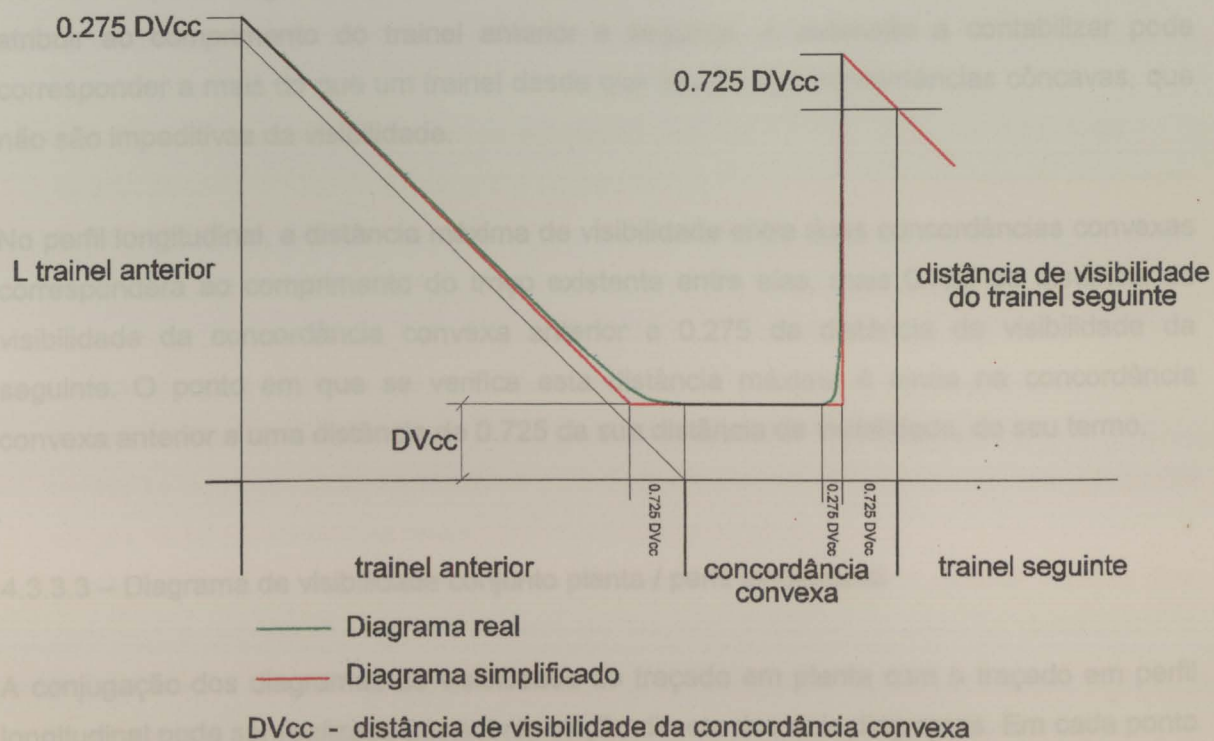


Figura 9 - Diagrama de distâncias de visibilidade - concordância convexa em perfil longitudinal

Para a fase de estudo em que se pretende utilizar esta informação, este diagrama permite de uma forma muito simplificada e já com um grau de precisão muito bom, obter-se o diagrama de visibilidade permitido pelo perfil longitudinal.

Para a sua execução só se entra em consideração com as concordâncias convexas como elemento limitador da visibilidade, dado as concordâncias côncavas em regra geral não serem impeditivas da visibilidade, só necessitando de serem estudadas para casos pontuais em que existam limitações de visibilidade em altura, por exemplo a coincidência de uma concordância côncava com uma passagem superior.

Existe uma outra situação em que as concordâncias côncavas também se tornam elementos limitadores da visibilidade que é quando se pretendem realizar diagramas de visibilidade para situações de circulação nocturna. Nestes casos, além de serem situações muito específicas e pontuais, os princípios da sua realização são completamente diferentes dos agora enunciados.

No caso do perfil longitudinal, deve ter-se em atenção na interpretação na figura 9 do valor a atribuir ao comprimento do trainel anterior e seguinte. A extensão a contabilizar pode corresponder a mais do que um trainel desde que ligados por concordâncias côncavas, que não são impeditivas da visibilidade.

No perfil longitudinal, a distância máxima de visibilidade entre duas concordâncias convexas corresponderá ao comprimento do troço existente entre elas, mais 0.725 da distância de visibilidade da concordância convexa anterior e 0.275 da distância de visibilidade da seguinte. O ponto em que se verifica esta distância máxima é ainda na concordância convexa anterior a uma distância de 0.725 da sua distância de visibilidade, do seu termo.

4.3.3.3 – Diagrama de visibilidade conjunto planta / perfil longitudinal

A conjugação dos diagramas de visibilidade do traçado em planta com o traçado em perfil longitudinal pode ser realizada por sobreposição directa dos dois diagramas. Em cada ponto de um traçado pode-se sobrepor a visibilidade permitida pela geometria em planta com a

mesma dada pelo perfil longitudinal. A visibilidade resultante corresponderá ao menor valor das duas.

A sobreposição dos dois diagramas permitirá a criação de um terceiro de distâncias mínimas de visibilidade ao longo do traçado.

Este perfil de visibilidades mínimas deverá ser comparado directamente com as três distâncias de visibilidade referidas na Norma e assim, permitir uma análise em cada ponto ou em cada zona, de qual o tipo de visibilidade que está garantido. Convém reforçar que estes diagramas devem ser realizados por sentido de circulação, à semelhança dos diagramas de velocidades específicas.

Nas figuras 10 a 12 está representado um pequeno exemplo cuja metodologia de execução é a seguinte:

- de acordo com a geometria em planta, são recolhidos os dados relativos aos comprimentos de cada um dos elementos geométricos e calculados para cada uma das curvas circulares o valor da distância de desobstrução, função do raio da via de circulação, e do tipo de perfil transversal (escavação);
- num perfil em que o eixo das abcissas representa a quilometragem do troço e o das ordenadas representa distâncias de visibilidade é desenhado o diagrama de curvas;
- de acordo com as regras explanadas na figura 8, é desenhado o diagrama de distâncias de visibilidade;
- função da velocidade de tráfego, pode-se logo nesta fase, representar as três distâncias de visibilidade normativas (DP, DD, DU), que permitirão só com o traçado em planta, a verificação se a distância de visibilidade de paragem é cumprida em toda a extensão e os locais em que cada uma das outras distâncias são verificadas;
- repete-se rigorosamente os mesmos passos para o perfil longitudinal em que as curvas em planta são substituídas pelas concordâncias convexas;
- sobrepõem-se os dois diagramas resultando um terceiro, continuando o eixo das abcissas a representar quilometragem do troço e o das ordenadas as distâncias de visibilidade;
- a envolvente mínima das distâncias de visibilidade (ordenadas) dadas pelos dois diagramas representa a distância de visibilidade em cada ponto da estrada tendo em conta o carácter tridimensional da mesma;

- finalmente deve ser realizada a comparação com cada uma das distâncias de visibilidade fixadas pela Norma de Traçado, função da velocidade de tráfego, e verificado o cumprimento da DP e os locais onde se cumpre as distâncias mínimas de DD e DU.

Dada a importância da distância de visibilidade na segurança rodoviária, esta área de estudo é sem dúvida um capítulo do projecto de Vias de Comunicação que deverá ser desenvolvido e pormenorizado, nomeadamente devido ao grande apoio que actualmente é dado pela informática.

Existindo já programas específicos de vias de comunicação que possibilitam a criação de modelos tridimensionais da estrada e do terreno envolvente, que permitem a um condutor virtual o percurso e a visualização do traçado, o aproveitamento do mesmo modelo para a realização automática de diagramas de visibilidade é informaticamente possível e não deverá apresentar grandes dificuldades.

Uma análise nestas circunstâncias já permitirá que o estudo se faça função do carácter tridimensional do percurso tendo em conta os mais variados elementos geométricos do traçado nomeadamente as curvas de transição, possibilitará que sejam analisadas variações de distâncias de visibilidade ao longo dos alinhamentos curvos e permitirá a inclusão da topografia envolvente e mesmo a existência de situações pontuais que localmente imponham restrições de visibilidade.

Independentemente desta evolução, o modelo agora apresentado, permite de uma forma simples, uma aproximação bastante boa ao diagrama de distâncias de visibilidade real, na perspectiva de um controlo rápido de um projecto, que se pretende que seja realizado numa fase precoce do seu desenvolvimento e de uma forma expedita, possibilitando que, de uma forma rápida, se detectem situações de falta de segurança que obrigam ao estudo de traçados alternativos.

Tal como no caso do diagrama de velocidades específicas o diagrama de distâncias de visibilidade, através do cumprimento da distância mínima de paragem, também servirá para a verificação de determinados parâmetros normativos, nomeadamente raios mínimos em planta e concordâncias convexas.

VB = 60 km/h

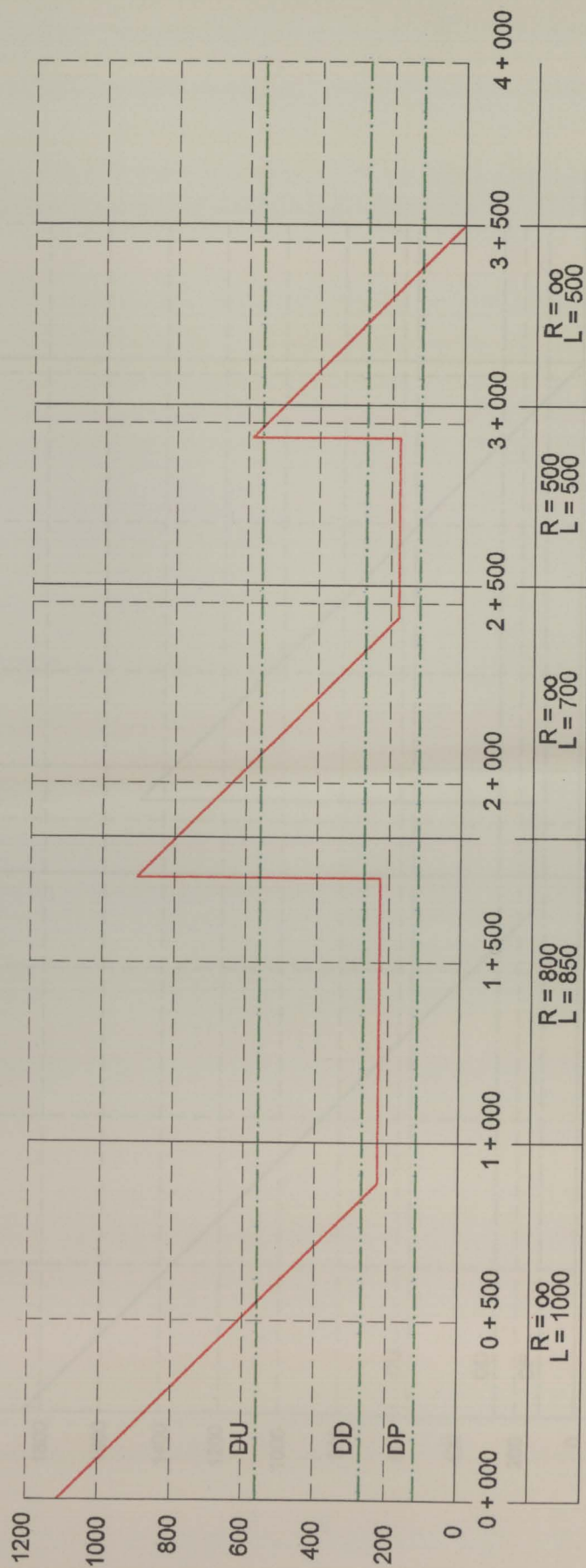
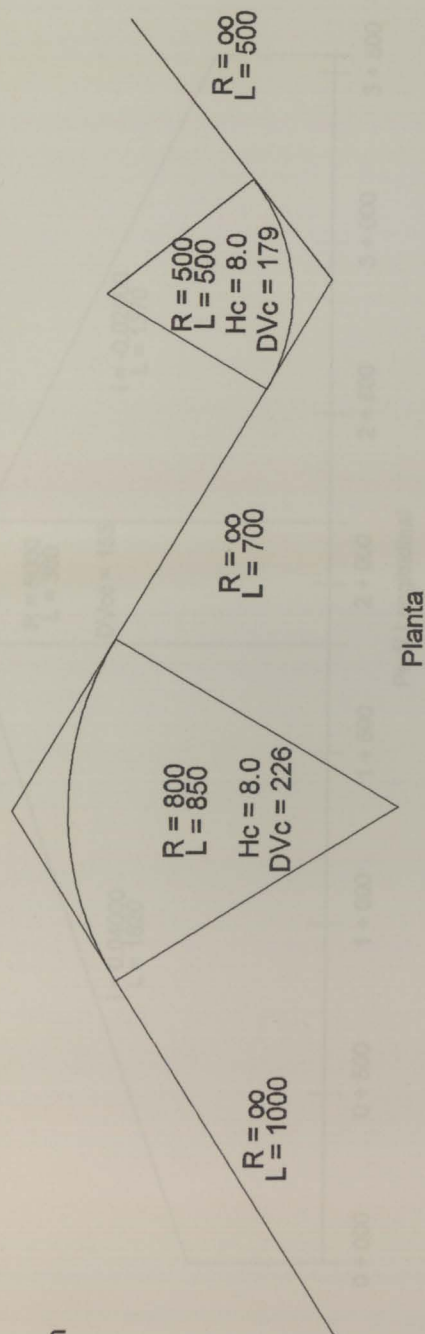


Diagrama de distâncias de visibilidade

Figura 10 - Diagrama de distâncias de visibilidade do traçado em planta

VB = 60 km/h

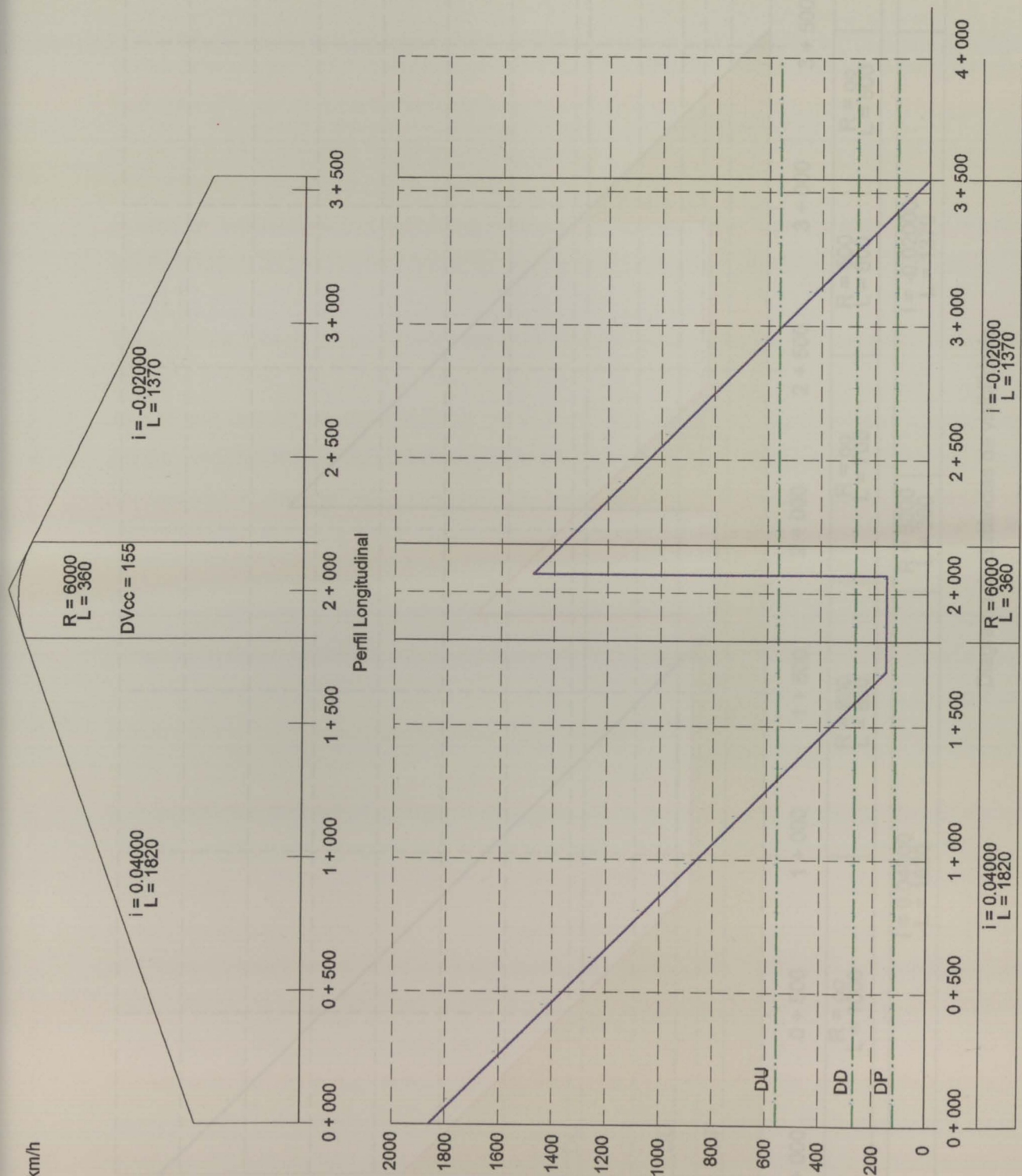


Diagrama de distâncias de visibilidade

Figura 11 - Diagrama de distâncias de visibilidade do traçado em perfil longitudinal



Diagrama de distâncias de visibilidade

Figura 12 - Diagrama de distâncias de visibilidade conjunto planta / perfil longitudinal

4.3.4 – Outros indicadores de controlo de qualidade

Como referido em 3.5.1 a denominada carga de condução, definida como a taxa de tempo que um condutor leva para executar uma quantidade de tarefas de condução (Messer, 1980) ou como a percentagem do tempo total de condução que os condutores necessitam de olhar para a estrada (Krammes et al., 1995), é um parâmetro muito subjectivo e como tal, de difícil avaliação quantitativa. É no entanto matéria consensual, que locais associados a elevadas necessidades de tarefas de condução correspondem a zonas de elevada sinistralidade.

Estes locais, assim como aqueles em que a expectativa de condução por parte do condutor se sabe ir sofrer alterações, estão fortemente relacionados com a distância de visibilidade. Assim, em termos de qualidade de projecto há que identificar esses pontos e dotar essas zonas com distâncias de visibilidade que permitam aos condutores uma atempada tomada de decisão e consequente reacção, ou verificar antecipadamente quais as zonas com visibilidade adequada e situar nesses locais os pontos de elevada carga de condução.

Estão incluídos neste tipo de situações os nós de ligação e as intersecções, que a Norma de Traçado obriga a uma localização onde se verifique no mínimo a distância de visibilidade de decisão. O número, tipo e afastamento entre este tipo de acontecimentos têm também uma influência muito grande na expectativa de condução.

É fundamental que estes exemplos de locais de maior carga de condução propiciem uma grande simplicidade de utilização e logicamente a facilidade de compreensão por parte dos condutores.

Um aspecto muito importante a ter em conta no projecto de um traçado é a criação de uma uniformidade de situações com que o condutor se vai deparar, este ao se decidir a percorrer uma estrada, tem logo à partida, uma expectativa do tipo de via e do tipo de situações que vai enfrentar. Após algum tempo de percurso esta expectativa pode ser confirmada, ou ser alterada para outra mais real que entretanto criou, mas o importante é que existe sempre uma expectativa do tipo de estrada que falta percorrer. Quando este parâmetro é alterado ou quebrado está-se, seguramente, perante um ponto crítico da estrada. O projectista tem que ter sempre presente o respeito das expectativas naturais que o condutor tem quando inicia um trajecto em determinada via, ou irá criar durante o seu percurso.

A padronização de soluções é fundamental, proporcionando que os utilizadores instintivamente reconheçam a situação, saibam o que os espera e como se comportar, mesmo que sejam situações mais ou menos complexas.

Assim, é importante não só o estudo da localização das zonas que obrigam a uma alteração da carga de condução, como a uniformidade dos parâmetros que induzem alterações de comportamento do condutor. Esta uniformidade irá originar um menor raciocínio do condutor, que à partida já só se fixa em determinados parâmetros que lhe suscitem dúvidas, e consequentemente uma menor carga de condução.

A padronização das soluções origina ainda uma maior responsabilidade por parte do projectista, que não deve de forma alguma, por questões mínimas que sejam, quebrar as expectativas do condutor. A isto acresce que, normalmente uma padronização de soluções implica um menor esforço de projecto e menores custos de obra, o que reforça o seu princípio de utilização.

Outro aspecto a analisar ainda neste âmbito, é o da possibilidade de serem permitidos a existência de acessos marginais para serventias. Este tipo de intersecções de muito menor importância que uma intersecção convencional, tornam-se perigosos dado o seu carácter muito mais aleatório de utilização, além da sua existência se verificar em número muito mais elevado. A sua permissão e existência, deve originar um estudo de optimização das suas localizações e características, à semelhança das intersecções convencionais.

Uma maneira racional de procedimento de verificações sobre este tipo de parâmetros é:

- a inserção no diagrama de visibilidade final da estrada (diagrama conjunto planta/perfil) dos locais inventariados como sendo de elevada carga de condução ou de alteração da expectativa de condução;
- verificação em cada um dos locais da distância de visibilidade permitida;
- caso se verifique que a visibilidade é insuficiente, proceder-se à alteração do local, à alteração da geometria do traçado, ou caso estas sejam de todo impossível, à tomada de medidas de prevenção;
- análise da distância entre estes locais e da uniformidade do seu espaçamento;
- verificação da padronização das situações ao longo do percurso, e no caso da existência de alterações às soluções tipo, a observação de que estas se faça de forma gradual.

Estão incluídas neste último ponto as variações de perfil transversal e da componente ambiental do meio envolvente.

Sempre que exista uma alteração das condições do perfil transversal da estrada, seja ao nível de largura da faixa de rodagem, de bermas, ou do tipo do pavimento, esta variação deve ser feita de uma forma gradual, de modo a que o condutor se aperceba da alteração que se vai introduzir no traçado e proceda às adaptações de condução e velocidade necessárias de uma forma segura e num tempo adequado.

Neste sentido, a Norma de Traçado refere que, quando da existência de uma alteração de perfil transversal numa estrada de duas vias, pela introdução de uma secção com 2 x 2 vias, o troço com esta nova secção não deve ter uma extensão inferior a 3 km, com um mínimo de 2 km (já referido em 2.5), devendo a transição da secção 2 x 2 vias para as 2 vias ser efectuada pela supressão das vias da esquerda, antes do fim do separador.

Quando a alteração é da componente ambiental envolvente, muitas vezes a melhor solução é a introdução de uma fronteira perfeitamente concreta e definida, que obrigue o condutor a sentir que o meio em que circulava vai acabar e que vai iniciar um novo troço de estrada com novos parâmetros de condução.

Uma outra verificação que deve ser realizada quando da avaliação de um projecto rodoviário é a da sua adaptação ao volume, natureza e tipo de tráfego. Apesar destes parâmetros se repercutirem directamente no dimensionamento do perfil transversal tipo, também devem ser tomados em atenção na determinação da geometria do traçado, mesmo que devido à falta de normativos específicos, seja de uma forma que possa ser considerada subjectiva.

A Norma de Traçado aconselha, e muita vezes impõe, regras que já entram em linha de conta com o volume e a natureza e tipo de tráfego, nomeadamente como critérios definidores, como por exemplo, na introdução de vias adicionais. Apesar disso, o projectista de traçado deve ter sempre presente e estar particularmente atento a estes parâmetros. Se está a projectar uma estrada com uma previsão elevada de tráfego pesado, está seguramente a projectar uma via onde vai existir um grande número de situações de ultrapassagem, pelo que deverá dar particular atenção a esta questão. As condições em que

se efectua a circulação do tráfego dependem essencialmente da possibilidade de ultrapassagem dos veículos mais lentos, nomeadamente os veículos pesados.

Em estradas rurais de duas vias, o volume de tráfego e as características geométricas da estrada têm um efeito importante na velocidade média de circulação, condicionando fortemente a qualidade de serviço que a estrada presta aos condutores. À medida que o volume de tráfego e/ou as restrições à visibilidade aumentam, a possibilidade de ultrapassagem diminui, resultando atrasos devido à formação de filas de espera atrás de veículos que circulam a velocidade reduzida.

Se pretender dar especial relevância ao tráfego pesado, o projectista verificará que a execução de um projecto onde se privilegie a observância das extensões críticas dos traineis é muito difícil. Consequência deste facto, a razão pela qual a Norma de Traçado refere que os valores indicados para as extensões críticas são essencialmente um guia para os projectistas.

Mesmo assim, o estudo dos troços em que não são respeitados os limites das extensões críticas dos traineis é uma das análises que deve ser efectuada no controlo da qualidade de um projecto. Sabendo-se que são locais onde existe uma diminuição muito significativa de velocidade nos veículos pesados, tomam-se locais fortemente apelativos à ultrapassagem.

A localização destas zonas é mais um elemento que deve ser sobreposto ao diagrama de visibilidade, permitindo assim uma análise sobre a potencialidade de ultrapassagem que existe, por parte dos veículos mais rápidos, e a tomada de medidas que propiciem a comodidade e segurança da circulação.

Verifica-se no entanto, que o controlo quantitativo dos vários indicadores já analisados com influência na qualidade do traçado de uma estrada, fundamentais para a existência de homogeneidade e consequentemente para indiciar a existência de consistência, não são, só por si, garante da existência de consistência numa estrada.

O estudo da consistência de uma estrada tem ser efectuada com o maior número de dados possível, daí que a sua realização se enquadre preferencialmente na fase de projecto de execução. Só nesta fase com um desenvolvimento muito mais pormenorizado de todas as

peças integrantes do projecto da estrada, se pode avaliar a consistência, quer em termos internos à própria estrada, quer em termos externos com a interacção com a componente ambiental do meio envolvente.

Este estudo, de difícil abordagem numérica e como tal com uma forte componente subjectiva, deve ser executado após a análise de todos os outros indicadores de uma forma simultaneamente abrangente e sintética. Abrangente no sentido em que se deve entrar com o maior número de dados, e sintética pois devem ser observados da forma mais resumida e simples possível. Esta metodologia permite que não exista uma dispersão de análise e que a detecção de deficiências de fauna de uma forma objectiva.

Como referido em 3.1, a consistência pressupõe estabilidade, coerência interna, não só do traçado mas de todo o meio envolvente à estrada e das acções que todo este conjunto exerce sobre o condutor, levando a que este mantenha uma concentração e tipo de condução o mais uniforme possível, podendo desta forma exercer uma condução preventiva e antecipativa, obtendo-se como consequência uma maior segurança rodoviária.

4.4 – Análise de procedimentos na avaliação de um projecto de traçado

Num sentido de sistematização de procedimentos e critérios de análise na avaliação da qualidade de um traçado rodoviário, deve ser referenciada a existência de dois tipos de projectos que comportam abordagens distintas para a sua concepção e consequentemente metodologias de controlo e avaliação diferentes:

- o projecto de estradas com traçados completamente novos, com extensões significativas que permitem a criação de uma expectativa própria de condução;
- o estudo de melhoramentos e/ou remodelações de estradas ou pequenos troços novos com extensões relativamente restritas, em que existe uma dependência do traçado existente ou dos troços fronteira.

O primeiro tipo de estudos representa o projecto em que, fornecidos os dados base iniciais, o projectista respeitando a legislação e a regulamentação em vigor, tem que se preocupar em conseguir, quer internamente quer externamente, o traçado tenha homogeneidade e consistência. O seu sucesso e segurança depende da existência dessa coerência. Nestes

casos o projectista só é condicionado pela rede viária existente nas zonas inicial e final do novo traçado.

O segundo tipo de estudos representa o projecto em que, partindo também de uma série de dados base iniciais, o projectista está fortemente dependente do traçado existente. Neste caso, o projectista é submetido em simultâneo a dois tipos de objectivos. Tem que realizar o estudo local do traçado de remodelação ou melhoramento que pretende efectuar no âmbito das regras regulamentares existentes, e simultaneamente tem que ter em atenção o traçado global da estrada onde está inserido, obtendo como resultado final da intervenção uma melhoria da homogeneidade e consistência global da estrada.

Por sua vez estes dois tipos de estudos, apresentam no seu desenvolvimento duas fases de projecto fundamentais para o seu controlo e avaliação:

- estudo prévio;
- projecto de execução.

A primeira, como já referido anteriormente, está vocacionada para a avaliação de parâmetros o mais globais e abrangentes possíveis, e a segunda para uma avaliação mais individualizada e pormenorizada de cada elemento.

No estudo de remodelações de traçados existentes em exploração, em que existem sobre eles uma recolha de dados concretos, muitas vezes o estudo prévio é relegado para um segundo plano. No entanto, quer para a análise de parâmetros globais, quer como elemento fundamental para o estudo de opções alternativas, o estudo prévio é uma fase de projecto que não deve ser descurada.

Num estudo prévio de um traçado novo devem ser analisados e controlados os seguintes indicadores, tendo-se em atenção a fase do projecto e a pretensão de fazer um controlo o mais global possível:

- geometria do traçado, exercendo-se um controlo sequencial sobre o traçado em planta, traçado em perfil longitudinal, coordenação planta / perfil e perfil transversal, incidindo esta análise preferencialmente sobre o controlo dimensional dos elementos geométricos;
- diagrama das velocidades, executado por sentido de circulação, efectuando a detecção da sequência de elementos com variações de velocidade superiores a 10 e 20 km/h;

- diagrama de distâncias de visibilidade, executado por sentido de circulação, e respectiva análise comparativa com DP, DD e DU;
- análise dos locais onde se espera uma elevada carga de condução;
- adaptação do traçado ao volume , natureza e tipo de tráfego.

A discussão a este nível dos indicadores propostos, leva a que possam ser detectadas situações passíveis de melhoria, numa fase em que se está ainda normalmente em presença de soluções alternativas, apresentando não só a vantagem de poder ser um precioso auxiliar de decisão sobre as mesmas, como de indicador da necessidade de rectificações da geometria do traçado numa altura em que o investimento no projecto é ainda relativamente pequeno. Os benefícios económicos que este controlo pode proporcionar, quer em termos de desenvolvimento do projecto e de realização da obra, como em termos de custos futuros de utilização da infraestrutura, serão incomparavelmente superiores ao da sua realização.

Na passagem para a fase de projecto de execução de um traçado novo, a sua análise deve ter em atenção se existiu um acompanhamento e controlo do projecto ao nível de estudo prévio. Caso esse controlo não tenha sido exercido, ou a fase de projecto tenha introduzido alterações de vulto, a estrutura de avaliação preconizada para o estudo prévio deve ser realizada em primeiro lugar, tal como se definiu anteriormente. Não vale a pena avançar para um controlo ao nível de projecto de execução sem existir uma análise mais simples e abrangente dos indicadores referidos.

A fase de projecto de execução da geometria de um traçado novo deve ter um controlo ao nível dos seguintes indicadores:

- verificação da existência de controlo ao nível de estudo prévio;
- geometria do traçado, complementando-se o controlo feito ao nível de estudo prévio, nomeadamente no que diz respeito no traçado em planta às curvas de transição, no traçado em perfil longitudinal, às inclinações mínimas transversais para efeito de drenagem, às extensões críticas, às condições de implantação de vias adicionais e escapatórias, no perfil transversal às sobrelarguras, sobreelevações e guardas de segurança e aos nós de ligação;
- estudo da consistência do traçado, quer através de uma análise da consistência interna, nomeadamente pela variação e balizagem dos vários indicadores do projecto, quer pela

análise da consistência externa, com o estudo da variação dos indicadores respeitantes ao meio ambiente envolvente da estrada.

No caso de remodelações em traçados existentes, e assumindo-se que existe a fase de estudo prévio, o primeiro trabalho a executar é o levantamento dos parâmetros médios existentes no troço a intervir. Como na maioria dos casos a extensão do troço em estudo, pela sua limitada dimensão, não permite que se observe uma autonomia de parâmetros dentro da zona intervencionada, a influência do traçado existente é muito importante e determinante nos valores que devem ser utilizados no projecto.

Diversas vezes, quando se pretende melhorar um local específico de um traçado, como por exemplo, um determinado alinhamento curvo onde existe um elevado grau de sinistralidade, a abordagem da resolução desta questão pode não se colocar na adopção nesse local de uma velocidade específica/tráfego mínima, mas na sua adaptação às velocidades específicas praticadas nos elementos confinantes, que pode levar a que a solução seja no sentido de uma diminuição de velocidade no elemento a intervir.

Muito do clausulado da Norma P3/94 da JAE, que parece descrito de uma forma avulsa e que, como já foi referido, muitas vezes é derogado por outras regras mais limitativas, é utilizado nestas análises.

Deve-se ter em atenção que nestes projectos, normalmente o traçado que se pretende remodelar é o traçado em planta, resultando o traçado em perfil longitudinal, principalmente nos casos em que a extensão em estudo é pequena, unicamente como um perfil de ligação com o traçado existente. Mesmo assim, no controlo do projecto, o traçado em perfil longitudinal também deve ser colocado como um elemento de verificação normal, devendo-se ter contudo presente, que nestas circunstâncias pode apresentar um papel secundário e subsidiário do traçado em planta.

Na avaliação do estudo prévio de uma remodelação de um traçado de estrada devem ser verificados e analisados os indicadores enunciados para o projecto de novos traçados, mas neste caso subdivididos em duas etapas:

- a primeira etapa para o traçado existente não só na zona directa de actuação mas também nas zonas confinantes à área de intervenção, em que deve ser efectuado o

levantamento dos parâmetros dos vários indicadores pretendidos e feito o estudo da sua gama de valores e variações;

- a segunda etapa para o estudo do traçado remodelado em que deve ser repetido o controlo dos indicadores anteriormente realizados e ser verificadas as mais valias introduzidas na homogeneidade do traçado existente.

De forma análoga à caracterização feita para um traçado novo, a avaliação do projecto de execução de uma remodelação de um traçado depende de ter existido um estudo prévio e de se ter efectuado um acompanhamento e controlo a esse nível. Se tal facto não se verificar, ou se na fase de projecto de execução se realizaram alterações de projecto com significado, a estrutura de avaliação preconizada para o estudo prévio deve ser realizada em primeiro lugar.

Ao nível de projecto de execução de uma remodelação de traçado os indicadores para o controlo do projecto, tendo sido realizado o controlo ao nível de estudo prévio, são em tudo idênticos aos de um projecto de um traçado novo, exceptuando-se o controlo da análise da consistência externa em que deve ser executada uma verificação adicional, respeitante às zonas de transição com a rede existente.

No quadro 19 é apresentada uma listagem exaustiva de todos os indicadores e parâmetros de projecto que devem ser verificados. Neste quadro, para ser possível colocar toda a informação em simultâneo relativa aos dois tipos de projectos analisados e respectivas fases implicou que, na fase de estudo prévio de uma remodelação de traçado, exista uma ligeira adaptação na verificação do traçado existente. Neste caso, não se pretende uma análise de máximos e mínimos, mas sim um levantamento simples dos parâmetros reais existentes.

QUADRO 19 - Síntese da análise da qualidade de traçados rodoviários

Parâmetros em análise					Traçado novo		Remodelação de traçado		
					Estudo Prévio	Proj. Execução	Estudo Prévio		Proj. Execução
							Traj. existente	Traj. estudo	
Geometria	Traçado em planta	Alinhamentos rectos	orientação dos alinhamentos	encadeamento solar	X				
				ventos dominantes	X				
		extensão	mínima		X		X	X	
			máxima		X		X	X	
		Alinhamentos curvos	raio	mínimo	X		X	X	
				máximo	X		X	X	
				relação entre curvas sucessivas	X			X	
		Curvas de transição	extensão mínima		X			X	
			parâmetro da cicloide	mínimo		X			X
				máximo		X			X
			extensão	mínima		X			X
	Traçado em perfil longitudinal	Transectos	inclinação	mínima	X		X	X	
				máxima	X		X	X	
			extensão	máxima	X		X	X	
				crítica (rampa equivalente)	X			X	
			inclinação mínima em curva			X			X
			condições para vias adicionais em rampa		X			X	
		Concordâncias verticais	condições para vias adicionais em declive		X			X	
			existência de condições para escapatórias		X			X	
			raio mínimo		X		X	X	
			extensão mínima		X			X	
			incl. mín. transversal na zona dos vértices			X			X
			Extensão crítica	análise dos locais onde não é respeitada		X			X
	Vias adicionais em rampa	Implantação				X			X
		Perfil transversal				X			X
		Extensão mínima				X			X
		Transições				X			X
	Vias adicionais em declive	Implantação				X			X
		Perfil transversal				X			X
		Transições				X			X
	Escapatórias	Implantação				X			X
		Concepção				X			X
	Coordenação do traçado em planta e perfil	Sobreposição de curvas planta / perfil longit.			X			X	
		Quebras de traçado			X			X	
	Perfil transversal	Largura das vias			X		X	X	
		Sobre largura nas curvas				X			X
		Largura das bermas e concordâncias			X		X	X	
		Largura dos separadores centrais			X		X	X	
		Inclinação transversal			X		X	X	
		Inclinação dos taludes			X		X	X	
		Distância de desobstrução lateral mínima			X		X	X	
		Alterações de perfil transversal			X			X	
		Sobre elevação	mínima			X			X
			máxima			X			X
			inclinação longitudinal do bordo exterior	mínima		X			X
				máxima		X			X
	Guardas de segurança	Condições de implantação				X			X
						X			X
	Nós de ligação	Geometrização				X			X
		Perfil transversal				X			X
Diagrama de velocidades específicas	Sentido 1	Análise de variações de VE entre elem. suces.			X			X	
	Sentido 2	Análise de variações de VE entre elem. suces.			X			X	
Diagrama de distâncias de visibilidade	Sentido 1	Traçado em planta	comparação com DP, DO e DU		X			X	
		Traçado em perfil longitudinal	comparação com DP, DO e DU		X			X	
		Diagrama conjunto planta / perfil	comparação com DP, DO e DU	análise de DU, seu afast. e uniformidade	X			X	
				percentagem de traçado com DU	X			X	
	Sentido 2	Traçado em planta	comparação com DP, DO e DU	extensão das zonas de não ultrapassag.	X			X	
					X			X	
		Traçado em perfil longitudinal	comparação com DP, DO e DU		X			X	
					X			X	
		Diagrama conjunto planta / perfil	comparação com DP, DO e DU	análise de DU, seu afast. e uniformidade	X			X	
				percentagem de traçado com DU	X			X	
Locais com elevada carga de condução	Nós de ligação e intersecções	Localização	distâncias de visibilidade		X			X	
			uniformidade de afastamento		X			X	
			Padronização		X			X	
Adaptação do traçado	Volume de tráfego				X			X	
	Natureza de tráfego				X			X	
	Tipo de tráfego				X			X	
Consistência do traçado	Análise da consistência interna	Variação de valores de parâmetros e sua balizegem	características geométricas			X			X
			tipo do pavimento			X			X
			velocidade específica			X			X
			distâncias de visibilidade			X			X
			coordenação em planta e perfil longitudinal			X			X
			variação das cargas de condução			X			X
	Análise da consistência externa	Variação de valores de parâmetros do meio ambiente envolvente	acessibilidade lateral			X			X
			tipos de entradas e saídas da estrada			X			X
			perfil transversal (aterro / escavação)			X			X
			área envolvente			X			X
			volume, natureza e tipo de tráfego			X			X
			inscrição na rede de estradas			X			
			zonas de transição			X			

5 – CONCLUSÕES

Uma das principais conclusões que se pretende objectivar neste trabalho é a importância da existência de homogeneidade de um traçado e de consistência numa estrada como parâmetros fundamentais para a segurança da circulação rodoviária e consequente diminuição da sinistralidade.

No levantamento efectuado dos diversos autores que elaboraram estudos sobre esta temática é conclusão unânime que numa estrada onde existam estas características observa-se uma maior segurança de circulação.

Por outro lado, constata-se que a elaboração e avaliação dos projectos desta especialidade com o objectivo da verificação individual das características dimensionais dos elementos geométricos, só por si não é suficiente para a garantia da existência de homogeneidade e consistência de uma estrada.

Assim, e indo ao encontro do que a Norma P3/94 da JAE preconiza para o controlo de projecto, ombreando com as principais linhas de orientação internacionais, foi dada especial relevância na metodologia de avaliação de um projecto, à verificação da variação e balizagem em torno dos valores base de projecto, quer das velocidades, quer das distâncias de visibilidade ao longo dos elementos geométricos do traçado. A existência de homogeneidade destes parâmetros leva a que o condutor rapidamente crie uma expectativa sobre o traçado e, dentro dos seus parâmetros de segurança, adopte uma condução uniforme, com vantagens para si em termos de carga de condução e para os outros utentes dada a interactividade entre todos os condutores se tornar muito mais pacífica.

A temática da velocidade foi abordada com algum ênfase, nomeadamente o diagrama de velocidades e o tipo de velocidade que deveria ser considerada na sua construção, tendo-se concluído que haveria vantagens na utilização da velocidade de tráfego, que logicamente não poderia ser indexada à velocidade base.

Do levantamento efectuado e dos dados recolhidos sobre a questão da uniformidade da velocidade de tráfego, ressalta a importância do estudo e observação de parâmetros que

impliquem uma limitação do diferencial de velocidade, quer entre a velocidade base e a velocidade de tráfego, quer entre classes de veículos e dentro destas entre condutores. Neste sentido, uma estrada com uma velocidade base inferior pode apresentar índices de segurança superiores a outras de velocidade base superior.

Por este facto se deu especial relevo a modelos de determinação das velocidades de tráfego e à execução e análise do respectivo diagrama de velocidades, tendo-se concluído da necessidade de uma maior intervenção das características geométricas do traçado na determinação das velocidades específicas de cada elemento.

Ainda sobre esta questão será de equacionar os limites actuais de variação da velocidade entre elementos sucessivos impostos pela Norma, que em alguns países é inferior aos 20 km/h impostos pela nossa Norma P3/94, para velocidades superiores a 70 km/h, posição corroborada por vários autores, entre os quais Lamm et al. (1995) que limita aos 10 km/h de variação de velocidade a classificação de um bom projecto.

Com influência determinante no diferencial de velocidades entre classes de veículos é a verificação e estudo dos locais onde não se respeitam os limites das extensões críticas dos traineis. O seu cumprimento, que em termos de custos de construção pode ser altamente penalizante, é vulgarmente relegado para segundo plano, tornando-se nestes casos muito importante a verificação da existência de locais com distâncias de visibilidade de ultrapassagem.

O estudo das distâncias de visibilidade, como elemento de controlo de um projecto de traçado rodoviário, é outro dos pontos chave a que se deu especial relevo. A verificação do tipo de distância de visibilidade que existe em cada ponto do traçado, ou a obrigação da existência de determinado tipo de visibilidade função das características de outros parâmetros, são factores fundamentais na segurança e comodidade de circulação. Uma existência de homogeneidade nas distâncias de visibilidade ao longo de um traçado é uma das principais contribuições para a consolidação da consistência de um projecto.

O método proposto para o estudo das distâncias de visibilidade ao longo de um traçado, apesar de ser de aplicação muito simples, é um precioso auxiliar quer na verificação de mínimos exigíveis de visibilidade, como no auxílio do estudo da capacidade de

ultrapassagem existente na estrada, tomando-se num elemento fundamental para o estudo da sinalização.

A análise das distâncias de visibilidade, por sua vez, deve ser associada ao estudo dos locais de elevada carga de condução. Nestes locais, como por exemplo zonas de cruzamentos, deve ser assegurada uma distância de visibilidade que permita a sua atempada e perfeita leitura. A Norma P3/94 indica para estes casos que, no mínimo deverá ser verificada a distância de visibilidade de decisão.

Igualmente foi abordada a questão da carga de condução pois, dada a sua influência na actuação do condutor, é um dos factores que mais originam a dispersão das suas reacções. Nesse sentido deve ser dado especial ênfase ao estudo da colocação de informação ao longo do traçado da estrada, correspondendo muita desta informação a publicidade comercial que nada tem a ver com a via. Este tipo de situação verifica-se de uma forma muito concreta nas zonas suburbanas e urbanas, assim como em zonas rurais na proximidade de intersecções.

Como indicador de controlo de avaliação de qualidade de um traçado rodoviário foi também dado especial relevo às indicações da Norma para as situações da conjugação planta/perfil longitudinal que originam uma deturpação da percepção da estrada.

Só a experiência profissional levará a que um projectista logo num primeiro esboço de um traçado tenha em linha de conta uma série de determinadas regras que obviem o aparecimento de problemas da geometrização do traçado. Daí que a chamada de atenção e a divulgação de situações de traçado a evitar é uma mais valia muito grande, quer para o próprio projectista como para o futuro utilizador.

Por razões análogas defende-se a avaliação do traçado de uma forma genérica numa fase precoce do projecto como o estudo prévio, tomando-se em termos de controlo global do traçado como a etapa mais importante.

A existência de factores conjunturais, como os económicos, podem tornar-se prioritários no desenvolvimento de um projecto, subvertendo a hierarquia dos objectivos da estrada, nomeadamente em segurança de circulação. A existência de critérios de avaliação, no

sentido da criação de homogeneidade entre projectos é um passo importantíssimo na existência da homogeneidade e consistência de traçado numa rede viária.

Um bom traçado de estrada é aquele que, independentemente da velocidade base para o qual foi estudado, respeita a expectativa que o condutor tem sobre ele. Deveria ser obrigatório o fornecimento ao condutor de informação sobre o tipo de estrada que se propõe utilizar, quer no respeitante às características geométricas através da indicação da velocidade óptima de circulação, quer no respeitante ao tipo de tráfego, quer relativamente à sua taxa de sinistralidade. Esta obrigatoriedade vai de encontro aos direitos que devem ter os consumidores, que ao pretenderem circular numa estrada devem ter direito a saber que tipo de estrada vão utilizar.

Um outro ponto que merece ser reflectido é o da discrepância que normalmente acontece entre os limites de velocidade impostos nas estradas e as respectivas velocidade base. Indicando-se já este tema como uma área que se gostaria de ver tratada em futuros trabalhos, verifica quem utiliza as estradas portuguesas que existem limitações legais de velocidade que não têm correspondência nenhuma com limitações impostas pela geometria do traçado. Muitas vezes limita-se a velocidade a valores baixos em determinado troço de estrada em que a sua geometria propicia a prática de valores elevados porque, por exemplo, existem condições associadas de grande acessibilidade lateral, resultando a existência nesse local de elevadas taxas de sinistralidade. Este procedimento a maior parte das vezes, não existindo uma constante repressão por parte das autoridades, o que obriga à sua presença, não resolve o problema. A tendência natural do condutor é associar a sua velocidade de circulação às condições proporcionadas pela geometria do traçado. Desconhecendo certas características que propiciam o risco em determinados locais, o condutor adequa a sua velocidade à geometria da estrada. Nestes casos, a solução ideal será a alteração da geometria da estrada por forma à diminuição da velocidade, tendo em atenção a sua homogeneização com os trechos confinantes.

A metodologia de avaliação de projectos deve também ser utilizada na análise de traçados existentes, como meio de identificação de locais com deficiências geométricas, podendo-se apresentar como um auxiliar de diagnóstico de futuras medidas de correcção.

Desta análise pode resultar que, com medidas correctivas de baixo custo, se obtenham mais valias muito importantes em termos de segurança de circulação. Pré sinalizações de locais detectados como perigosos, melhoria das sinalizações, nomeadamente através do auxílio do diagrama de visibilidades, a utilização de delineadores e marcadores, etc. são medidas de baixo custo que podem trazer contrapartidas muito positivas.

Em termos de desenvolvimentos futuros, esta temática apresenta várias vertentes de possível evolução, algumas já apontadas ao longo do texto.

Assim, o estudo de modelos para o desenvolvimento de diagramas de velocidades mais representativos da realidade, com uma maior interdependência das características dos elementos geométricos fronteira, que entrem em linha de conta não só com os elementos geométricos em planta, mas também com os elementos geométricos em perfil, assim como o desenvolvimento de programas informáticos para esta finalidade, é uma vertente a desenvolver.

A realização de um manual prático de optimizações de soluções que propiciem melhores traçados, que originem uma melhor percepção da estrada e principalmente que encaminhem para uma uniformização de critérios de projecto em complemento à Norma de Traçado, é também um estudo com potencial de desenvolvimento e de grande utilidade que contribuiria para uma tipificação de soluções, com todas as vantagens que daí poderiam advir.

Refira-se ainda que, a existência de uma Norma de Traçado genérica para todo o tipo de estradas, mas que se encontra primordialmente vocacionada para estradas rurais, levanta algumas questões. Neste momento, com o alargamento das áreas metropolitanas verifica-se o desenvolvimento do número de projectos de estradas que se inserem em áreas urbanas ou suburbanas. Estas estradas ainda que em termos geométricos apresentem metodologias de estudo idênticas às restantes, em termos de tráfego, acessibilidades e da própria envolvente, são completamente distintas e apresentam velocidades de circulação e características muito específicas. O desenvolvimento de trabalhos nesta área de projecto será de grande utilidade futura.

Finalmente propõe-se a criação de uma classificação das estradas em termos de homogeneidade, consistência e principalmente em termos de sinistralidade que é, em termos de opinião pública, a vertente mais sensibilizante. Com o aumento da rede viária concessionada, esta classificação, atribuída por entidade competente e idónea, deveria ser afixada de forma que o condutor esteja consciente do tipo de via que se propõe percorrer.



BIBLIOGRAFIA

AL-MASAEID, H. R., HAMED, M., ELA, M. A., e GHANNAM, A. G. (1995) – Consistency of horizontal alignment for different vehicle classes; *Transportation Research Record 1500*, Transportation Research Board, Washington, 178-183.

BABKOV, V. F. (1968) – Road design and traffic safety; *Traffic Engineering and Control*, 9, Londres, 236-239.

BABKOV, V. F. (1975) – *Road conditions and traffic safety*, English Ed. Mir Publishers, Moscovo.

BRENAC, T. (1996) – Safety at curves and road geometry standards in some European countries; *Transportation Research Record 1523*, Transportation Research Board, Washington, 96-106.

CARDOSO, J. L., e CASTILHO, A. J. (1989) – Investigação em segurança rodoviária. A experiência do LNEC no domínio; *Seminário sobre Segurança Rodoviária*, FESTRU, Lisboa.

CARDOSO, J. L., e MENDONÇA, J. F. (1994) – Acidentes rodoviários na rede nacional, Simpósio "a Segurança no Ambiente Rodoviário"; *LNEC*, Lisboa.

CARDOSO, J. L., (1994) – Sinistralidade na rede rodoviária nacional no ano de 1990; *LNEC*, Lisboa.

CARDOSO, J. P. (1996) – Estudo das relações entre as características da estrada, a velocidade e os acidentes rodoviários. Aplicação a estradas de duas vias e dois sentidos; *Universidade Técnica de Lisboa*, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

CASTILHO, A. J. (1983) – Estudo das relações entre os acidentes rodoviários e as características da estrada; *LNEC*, Lisboa.

CHOUERI, E. M., LAMM, R., KLOECKNER, J. H., e MAILAENDER, T. (1994) – Safety aspects of individual design elements and their interactions on two-lane highways: International perspective; *Transportation Research Record 1445*, Transportation Research Board, Washington, 34-36.

COUTO, A. J. F. (1996) – As Normas de Projecto da J.A.E. - Análise de princípios fundamentais e comparação com outras disposições normativas. O caso do traçado em planta; *Fac. Engenharia da Universidade do Porto*, Porto.

COUTO, A. J. F. (1996) – Cálculo do perfil longitudinal; *Fac. Engenharia da Universidade do Porto*, Porto.

EASA, S. M. (1995) – Geometric design, Chapter 60; *Civil Engineering Handbook*, W. F. Chen, ed., CRC, Boca Raton, Fla.

ELVIK, R., e VAA. T. (1990) – Human factors, road accident data and information technology; *Report 0067/1990*. TOI, Oslo, Noruega.

FERRARI, P., GIANNINI, F. (1987) – Ingegneria Stradale – Vol. I: Geometria e Progetto di Strade; *2ª Edição, E.S.E.D.I., Istituto Editorial Internazionale*.

FITZPATRICK, K., KRAMMES, R. A., e FAMBRO, D. B. (1997) – Design speed, operating speed, and posted speed relationships; *Journal of Institut. of Transportation Engineering*, Feb, 52-59.

FRANÇA, A. (1991) – Estudo do traçado de estradas; *FEUP, Secção de Vias de Comunicação*, Porto

GALIN, D. (1981) – Speeds on two-lane rural roads – a multiple regression analysis; *Traffic Engineering and Control*, Vol 22, Nº 8/9 August/September.

GAMBARD, J. M. (1985) – Approche du comportement cinématique du vehicule libre sur un axe routier, ENPC.

Geometric design standarts – Guidelines for the design of rural roads (1973) – *RAL-L-1*, German Road and Transportation Research Association, Committee 2.3.

GIBREEL, G. M., EASA, S. M., e EL-DIMEERY, I. A. (1998) – Review of highway geometric design consistency; *2ª Transp. Spec. Conference, IV a*, 325-336.

GIBREEL, G. M., EASA, S. M., HASSAN, Y., e EL-DIMEERY, I. A. (1999) – State of the art of highway geometric design consistency; *Journal of Transportation Engineering (July/August)*, 305-313.

GLENNON, J. C., e WEAVER, G. D. (1972) – Highway curve design for safe vehicle operations; *Highway Research Record* 390, 15-26.

GLENNON, J. C. NEUMAN, T. R., LEISCH, J. E. (1985) – Safety and operational considerations for design of rural highway curves; *Report FHWA/RD-86/035*, Federal Highway Administration.

HARWOOD, D. W., e HOBAN, C. J. (1987) – Low-cost methods for improving traffic operations on two-lane roads; *Report FHWA-IP-87-2*, FHWA, Washington.

HASSAN, Y., e EASA, S. M. (1988) – Design considerations of sight distance red zones on crest curves; *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, Vol. 124, Nº 4, 343-352.

Highway design, fundamentals, speed as a design element (1981) – *Swiss Norm SN 640080a*, Swiss Association of Road Specialists.

HIRSH, M. (1987) – Probabilistic approach to consistency of highway alignment; *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, Vol. 113, Nº 3, Maio, 268-276.

ISLAM, M. N., e SENEVIRATNE, P. N. (1994) – Evaluation of design consistency of two-lane highways; *Journal of Institut. of Transportation Engineering*, 64 (Feb), 28-31.

I.T.E. – Transportation and traffic engineering handbook (1976). Institute of traffic engineers, Prentice-Hall International, New Jersey.

J.A.E. (1994). Norma de Traçado - P3/94; *Instituto de Estradas de Portugal*, Almada.

JOHNSON, R. A., e WICHERN, D.W. (1982) – *Applied multivariate statistical analysis*, 2 Edição, Prentice-Hall, Englewood Cliff.

KANELLAIDIS, G., GOLIAS, J., e EFSTATHIADIS, S. (1990) – Driver's speed behaviour on rural road curves; *Traffic Engineering and Control*, July/August, Londres, 414-415.

KRAMMES, R. A., BRACKETT, R. Q., SHAFER, M. A., OTTESEN, J. L., ANDERSON, K. L., COLLINS, K. M., PENDLETON, O. J., e MESSER, C. J. (1994) – Horizontal alignment design consistency for rural two-lane highways; *Report FHWA/RD-94-034*, Federal Highway Administration, Washington.

KRAMMES, R. A., RAO, K. S., e OH, H. (1995) – Highway geometric design consistency evaluation software; *Transportation Research Record 1500*, Transportation Research Board, Washington, 19-24.

LAMM, R., HAYWARD, J., e CARGIN, J. (1986) – Comparison of different procedures for evaluating speed consistency; *Transportation Research Record 1100*, Transportation Research Board, Washington, 10-19.

LAMM, R., CHOUEIRI, E. M. (1987) – Recommendations for evaluating horizontal design consistency based on investigations in the state of New York; *Transportation Research Record 1122*, Transportation Research Board, Washington, 68-78.

LAMM, R., e CHOUEIRI, E. M. (1987) – A design procedure to determine critical dissimilarities in horizontal alignment and enhance traffic safety by appropriate low-cost or high-cost projects; *Grant ECE-8414755, Report to the National Science Foundation*, Washington.

LAMM, R., e CHOUEIRI, E. M. (1987) – Rural road speed inconsistencies design methods; *Contract RF320-PN72350, Final Report to the State University of New York Research Foundation, Part I and II*, Albany, New York.

LAMM, R., CHOUEIRI, E. M., e HAYWARD, J. C. (1988) – Tangent as an independent design element; *Transportation Research Record 1195*, Transportation Research Board, Washington, 123-131.

LAMM, R., e CHOUEIRI, E. M. HAYWARD, J. C. e PALURI, A. (1988) – Possible design procedures to promote design consistency in highway geometric design on two lane rural roads; *Transportation Research Record 1195*, Transportation Research Board, Washington, 111-122.

LAMM, R., CHOUEIRI, E. M., e MAILAENDER, T. (1990) – Comparison of operating speed on dry and wet pavement of two lane rural highways; *Transportation Research Record 1280*, Transportation Research Board, Washington, 199-207.

LAMM, R., CHOUEIRI, E. M., e MAILAENDER, T. (1991) – Side friction demand versus side friction assumed for curve design on two-lane rural highways; *Transportation Research Record 1303*, Transportation Research Board, Washington, 11-21.

LAMM, R., CHOUEIRI, E. M., e MAILAENDER, T. (1992) – Traffic safety on two continents – a ten year analysis of human and vehicular involvements; *Proc. Strategic Hwy. Res. Program (SHRP) and Traffic Safety on Two Continents*, 18-20.

LAMM, R., GUENTHER, A. K., e CHOUEIRI, E. M. (1995) – Safety module for highway geometric design; *Transportation Research Record 1512*, Transportation Research Board, Washington, 7-15.

LEISCH, J. E., e LEISCH, J. P. (1997) – New concept in design speed applications, as a control in achieving consistent highway design; *Transportation Research Record 631*, Transportation Research Board, Washington, 4-14.

LINDENMANN, H. P., RANFT, B. (1978) – Geschwindigkeit in kurven, EDI – Forschungsauftrag 3/77-1, Suíça.

LUNENFELD, H., e ALEXANDER, G. J. – Human factors in highway design and operations; *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, Vol. 110.

McFADDEN, J., e ELEFTERIADOU, L. (1997) – Formulation and validation of operating speed-based models using bootstrapping; *Transportation Research Record 1579*, Transportation Research Board, Washington, 97-103.

McLEAN, J. R. (1989) – *Two-lane highway traffic operations. Theory and practice*; Gordon and Breach Science Publishers, New York.

McLEAN, J. R. (1988) – Speeds, friction factors and alignment design standards; *Research Report ARR 154*, ARRB, Victoria.

MENDOZA, A., e MAYORAL, E. (1994) – Economic feasibility assessment procedures for climbing lanes on two-lane roads in Mexico; *Transportation Research Record 1457*, Transportation Research Board, Washington, 26-34.

MESSER, C. J., MOUNCE, J. M., e BRACKETT, R.Q. (1979) – Highway geometric design consistency related to driver expectancy; *Rep. N° FHWA-RD-79-35*, Federal Highway Administration, Washington.

MESER, C. J., (1980) – Methodology for evaluating geometric design consistency; *Transportation Research Record 757*, Transportation Research Board, Washington, 7-14.

MORRALL, J., e ABDELWAHAB, W. (1998) – Truck escap ramps: need, location, and geometric design features; *Proc., and Transp. Spec. Conf. IVa: Des. And Mgmt*, 287-296.

NICHOLSON, A. (1998) – Superelevation, side friction, and roadway consistency; *Journal of Transportation Engineering*, ASCE 124(5), 411-418.

OLSON, P. L., CLEVELAND, D. E., FANCHER, P. S., KOYSTYNIUK, L. P., e SCHNIEDER, L. W. (1984) – Parameters affecting stopping sight distance; *Rep. N° 270*, Transportation Research Board, National Cooperative Highway Research Program.

OTTESEN, J. L., e KRAMMES, R. A. (1994) – Speed profile model for a U.S. operating-speed-based design consistency evaluation procedure; *73th Annual Meeting*, TRB.

WILSON, T. D. (1968) – Road safety by design; *Journal of Institut. of Highway Engineering*, 15, 23-33.

PIGNATARO, L. J. (1973) – *Traffic engineering theory and practice*; Prentice –Hall, Englewood Cliffs.

A policy on geometric design of highways and streets (1965) – American Association of State Highway Officials (AASHTO), Washington.

A policy on geometric design of highways and streets (1984) – American Association of State Highway Officials (AASHTO), Washington.

A policy on geometric design of highways and streets (1994) – American Association of State Highway Officials (AASHTO), Washington.

PSARIANOS, B., KONTARATOS, M., e KATSIOS, D. (1995) – Influence of vehicle parameters to curve design of rural highways; *International Symposium on Highway Geometric Design Practices*. TRB, Boston.

PURSULA, M., e ENBERG, A. (1991) – Characteristics and level-of-service – estimation of traffic flow on two-lane rural roads in Finland; *Transportation Research Record 1320*, Transportation Research Board, Washington.

ROOSMARK, P., e FRAEKI, R. (1970) – Studies os effects produced by road environment and traffic characteristics on traffic accidents; *Proc. Symp. On the Use of Statistical Methods in the Analysis os Road Accidents*, Organization for Economic Cooperation and Development, Paris.

ROWAN, N. J., e KEESE, C. J. (1962) – A study of factors influencing traffic speeds; *Accident analysis and speed characteristics*. HRB 341. HRB, Washington.

SABEY, B. E., e STAUGHTON, G. C. (1975) – Interacting roles of road environment, vehicle and road user in accidents; RUMAR K. – *Human factor in road safety*. 11th ARRB Conference, Melbourne, Australia, 1982.

SCHANDERSSON, R. (1990) – Road surface and safety. Results from the Swedish subproject in the Nordic Project TOVE; *Third European Workshop on recent developments in road safety research*, VTI, Linkopink.

SILYANOV, V.V. (1973) – Comparison of the pattern of accident rates on roads of different countries; *Traffic Engineering and Control*, 14, Londres, 432-435.

SMITH, B. L., e LAMM, R. (1994) – Coordination of horizontal and vertical alignment with regard to highway aesthetics; *Transportation Research Record 1445*, Transportation Research Board, Washington, 78-85.

SPARKS, W. J. (1968) – The influence of highway characteristics on accident rates; *Public Works*, 99(3), 101-103.

Standart specifications for geometric design of rural roads (1986) – National Swedish Road Administration, Vagverket TV 124 E, Borlange, Suécia.

TALARICO, R. J., MORRALL, J. F. (1994) – The costs-effectiveness of curve flattening in Alberta; *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 21.

TIGNOR, C. C., e WARREN, D. (1990) – Driver behaviour on U.S. streets and highways; *I.T.E. Compendium of Technical Papers*. I.T.E., Washington.

THOMPSON, H. T., e PERKINS, D. D. (1983) – Surrogate measures for accident experience at rural isolated horizontal curves, Traffic flow, capacity and measurements; *Transportation Research Record 905*, Transportation Research Board, Washington.

TREAT, J. R. (1980) – A study of precrash factors involved in traffic accidents, The HSRI Research Review; RUMAR K. – *Human factor in road safety*. 11th ARRB Conference, Melbourne, Australia, 1982.

URBANIK, T., HINSHAW, W., e FAMBRO, D. (1989) – Safety effects of limited sight distance on crest vertical curves; *Transportation Research Record 1208*, Transportation Research Board, Washington, 23-25.

WASIELEWSKI, P. (1984) – Speed as a measure of driver risk: observed speed versus driver and vehicle characteristics; *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 16, Nº 2. Abril.

WOOLDRIDGE, M. D. (1994) – Design consistency and driver error; *Transportation Research Record 1445*, Transportation Research Board, Washington, 148-155.

ZEGEER, C., STEWART, R., REINFURT, D., COUNCIL, F., NEUMAN, T., HAMILTON, E., MILLER, T., e HUNTER, W. (1991) – Cost-effective improvements for safety upgrading of horizontal curves; *Report FHWA-RD-90-021*, FHWA, Washington.



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000051949