

ÁREA ADJACENTE À FAIXA DE RODAGEM

MANUAL SOBRE ASPECTOS DE SEGURANÇA



ÁREA ADJACENTE À FAIXA DE RODAGEM

Manual sobre Aspectos de Segurança

DOCUMENTO BASE

CRITÉRIOS DE SEGURANÇA PARA A ÁREA ADJACENTE À FAIXA DE RODAGEM

SUMÁRIO

O presente relatório foi elaborado no âmbito do estabelecimento de disposições normativas relativas ao dimensionamento da área adjacente à faixa de rodagem (AAFR) nas estradas da Rede Rodoviária Nacional, por solicitação do Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias, I.P.

A intervenção neste domínio ao nível do projecto de estradas novas ou da beneficiação de estradas existentes pode contribuir significativamente para a redução da sinistralidade rodoviária e das suas consequências, justificando o estabelecimento de valores recomendáveis para o dimensionamento da AAFR em estradas da Rede Rodoviária Nacional.

ROADSIDE SAFETY CRITERIA

ABSTRACT

This report was prepared by request of *the Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias, I.P.*, to support the establishment of recommendations regarding roadside design in the National Road Network.

Roadside safety consideration in the design of new roads and roadside safety interventions on existing roads may contribute to significantly reduce the number of road accidents and their consequences, justifying the establishment of guidelines for roadside design in roads of the National Road Network.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	ENQUADRAMENTO E CONCEITOS FUNDAMENTAIS	5
2.1	Generalidades	5
2.2	Os conceitos de “Estrada Auto-explicativa” e “AAFR tolerante”.....	7
2.3	O conceito de zona livre.....	14
3	CARACTERIZAÇÃO DA SINISTRALIDADE ENVOLVENDO A AAFR	23
3.1	Introdução.....	23
3.2	Desagregação da rede de estradas portuguesa	25
3.3	Recolha dos dados	25
3.4	CrITÉrios de selecção de acidentes relevantes	26
3.5	Indicadores utilizados.....	27
3.6	Análise dos dados.....	28
3.7	Despistes na RRN.....	32
4	CRITÉRIOS PARA O DIMENSIONAMENTO DA AAFR.....	38
4.1	Princípios teóricos de dimensionamento	38
4.2	Observação de Incursões na AAFR.....	48
4.2.1	Frequência	49
4.2.2	Velocidade de saída da estrada	54
4.2.3	Ângulo de saída da faixa de rodagem.....	56
4.2.4	Extensão transversal.....	62
4.2.5	Inclinação dos taludes.....	75
4.3	Obstáculos na AAFR	80
4.3.1	Obstáculos pontuais	81
4.3.2	Obstáculos lineares.....	93
4.4	Prática actual.....	96
5	CARACTERÍSTICAS DA AAFR PRECONIZADAS PARA ESTRADAS PORTUGUESAS	117
5.1	Largura da Zona Livre.....	117
5.2	Obstáculos perigosos	118

6	CONCLUSÕES.....	121
	BIBLIOGRAFIA.....	124

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Definição de zona livre em diversos países europeus	19
Quadro 2 – Abordagem do conceito de “área de recuperação” em diversos países europeus	20
Quadro 3 – Percentagem de redução de acidentes para aumentos da largura da zona livre	22
Quadro 4 – Efeito do aumento da largura da zona livre no número de acidentes	22
Quadro 5 – Taxa de acidentes corporais (despistes por 100 000 habitantes).....	28
Quadro 6 – Número de mortos e feridos graves por 10 ⁶ veículos×km (2004-2007) – valores médios e máximos	37
Quadro 7 – Níveis de desaceleração padrão a considerar no cálculo da DVP [15].	46
Quadro 8 – Distribuição dos ângulos de saída (adaptado de [48]).	56
Quadro 9 – Distribuição dos ângulos de saída (adaptado de [94]).	57
Quadro 10 – Redução percentual de despistes e do total de acidentes resultante da redução da inclinação dos taludes (adaptado de [40]).	76
Quadro 11 – Percentagem de redução de acidentes para alterações na inclinação dos taludes (adaptado de [64]).	76
Quadro 12 – Efeito da redução da inclinação dos taludes no número de acidentes	80
Quadro 13 – Efeitos resultantes das medidas relativas aos postes de electricidade e de telefone (adaptado de [122]).	85
Quadro 14 – Características da zona de recuperação em estradas novas em França	97
Quadro 15 – Características da zona de segurança em estradas novas em França	98
Quadro 16 – Largura da zona livre de obstáculos na Holanda (adaptado de [104]).....	98
Quadro 17 – Largura da zona livre de obstáculos em auto-estradas na Holanda.....	99
Quadro 18 – Critérios de selecção do tipo de AAFR na Suécia – perspectiva do condutor (adaptado de [116] e [117]).	104
Quadro 19 – Critérios de selecção do tipo de AAFR na Suécia – eficiência	104
Quadro 20 – Distância mínima (m) a obstáculo fixo sem barreira de segurança (secção de escavação em maciço rochoso) (adaptado de [116] e [117]).	105
Quadro 21 – Altura máxima de aterro e a distância mínima a precipícios	105
Quadro 22 – Largura da zona livre de obstáculos na Europa (adaptado de [86]).	107

Quadro 23 – Largura da zona livre (adaptado de [4]).	110
Quadro 24 – Ajustamentos relativos a curvas em planta (adaptado de [4]).	111
Quadro 25 – Largura da zona livre de projecto (adaptado de [119]).	112
Quadro 26 – Largura da zona livre (m) (adaptado de [45] e [77]).	115
Quadro 27 – Valores limites de inclinação de taludes em zonas de aterro (adaptado de [71]).	116
Quadro 28 – Largura da zona livre de obstáculos	118
Quadro 29 – Características dos obstáculos pontuais (adaptado de [80]).	119
Quadro 30 – Características dos obstáculos lineares (adaptado de [80]).	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Estrada auto-explicativa com AAFR tolerante [82].....	13
Figura 2 – Zona de recuperação e a zona de segurança (adaptado de [90]).	16
Figura 3 – Zona livre.	21
Figura 4 – Distribuições percentuais de despistes por país.	29
Figura 5 – Evolução dos números de acidentes e de despistes em Portugal (1991-2006).....	29
Figura 6 – Comparação da distribuição percentual de acidentes com despiste em 10 países da UE e em Portugal no período de 2001 a 2005.	30
Figura 7 – Comparação da distribuição percentual de mortos e feridos graves em acidentes com despiste em 10 países da UE e em Portugal no período de 2001 a 2005.	31
Figura 8 – Evolução do número de mortos por 100 000 habitantes em despistes.	31
Figura 9 – Evolução percentual dos despistes em relação ao total de acidentes na RRN.	33
Figura 10 – Evolução percentual dos mortos e feridos graves em despistes em relação ao total de acidentes na RRN.	34
Figura 11 – Desagregação do número de acidentes corporais.....	34
Figura 12 – Desagregação do número de vítimas mortais.....	35
Figura 13 – Desagregação do número de vítimas.....	35
Figura 14 – Desagregação percentual do número de acidentes corporais.....	36
Figura 15 – Desagregação percentual do número de vítimas mortais.....	36
Figura 16 – Desagregação percentual do número de vítimas.....	36
Figura 17 – Ângulo de saída em alinhamento recto (adaptado de [80]).....	39
Figura 18 – Relação entre a trajectória do veículo fora da faixa de rodagem e a sua velocidade (adaptado de [80]).....	40
Figura 19 – Ângulo de saída em curva (adaptado de [80]).....	41
Figura 20 – Relação teórica entre a distância lateral ao limite da faixa de rodagem e o ângulo de saída, em função do raio da curva (adaptado de [80]).	41
Figura 21 – Relação teórica entre a velocidade e o ângulo de saída (adaptado de [80]).	42
Figura 22 – Definição do ângulo de saída do veículo (adaptado de [80]).	43
Figura 23 – Ensaio de choque Euro NCAP - Colisão frontal [47].....	44

Figura 24 – Percurso de um veículo num talude de aterro [80].....	47
Figura 25 – Frequência de incursões (adaptado de [62])	50
Figura 26 – Factores de ajustamento da frequência de incursões para curvas horizontais e trainéis (adaptado de Wright, P.H., Robertson, L. (1976). Priorities for Roadside Hazard Modification: A Study of 300 Fatal Roadside Object Crashes. Traffic Engineering, Vol. 46, No. 8. Citado em [95])	53
Figura 27 – Distribuição da velocidade de saída em despistes (adaptado de [80]).....	55
Figura 28 – Área de risco potencial baseada na trajectória da aresta mais à direita da frente do veículo descontrolado (adaptado de [109])	58
Figura 29 – Ângulos de saída da faixa de rodagem (adaptado de [116]).	60
Figura 30 – Percentagem de incursões na AAFR sem colisão com obstáculos para larguras inferiores às indicadas e para diferentes ângulos de saída (adaptado de [116]).....	61
Figura 31 – Distribuição de ângulos de saída em despistes (adaptado de [80]).....	62
Figura 32 – Relação geral para a distribuição de acidentes na zona livre (adaptado de [2]).	63
Figura 33 – Relação entre acidentes e largura da zona livre (adaptado de [109]).....	64
Figura 34 – Distribuições da extensão transversal de incursão para diferentes tipos de estrada (adaptado de [62]).....	65
Figura 35 – Frequência média anual de acidentes envolvendo postes como função da densidade e recuo dos postes (adaptado de [64]).....	66
Figura 36 – Efeito relativo estimado da largura do separador central nas taxas de acidentes para secções de estrada com quatro vias e dois sentidos, em Utah (adaptado de [64]).	67
Figura 37 – Efeito relativo estimado da largura do separador central nas taxas de acidentes para secções de estrada com quatro vias e dois sentidos, em Illinois (adaptado de [64]).	68
Figura 38 – Percentagem de incursões na AAFR sem colisão com obstáculos para larguras inferiores às indicadas e para diferentes profundidades de valetas (adaptado de [116]).	69
Figura 39 – Percentagem de incursões na AAFR sem colisão com obstáculos para larguras inferiores às indicadas e para diferentes tipos de veículos (adaptado de [116]).....	70
Figura 40 – Relação entre o risco de colisão com árvores e a distância	71
Figura 41 – Relação entre o risco de colisão com árvores e a distância da fila de árvores à berma em estradas com uma faixa de rodagem (adaptado de [88]).	72

Figura 42 – Relação entre o risco de colisão com árvores e a distância da fila de árvores à berma em estradas rurais com uma faixa de rodagem (adaptado de [88]).	73
Figura 43 – Afastamento lateral dos obstáculos embatidos em despistes – Base de dados de acidentes do projecto RISER [80].	74
Figura 44 – Distribuição acumulada do afastamento aos obstáculos embatidos em despistes – Base de dados de acidentes do projecto RISER [80].	75
Figura 45 – Elementos da área adjacente à faixa de rodagem	77
Figura 46 – Verificação da simulação através de testes à escala natural [87].	79
Figura 47 – Base deslizante de um sinal de pequenas dimensões [124].	82
Figura 48 – Posto S.O.S. [53].	87
Figura 49 – Cabina telefónica de S.O.S.	88
Figura 50 – Boca de aqueduto atravessável [4].	89
Figura 51 – Características da zona livre de obstáculos em auto-estradas na Holanda [75].	101
Figura 52 – Tipos de AAFR na Suécia (secção em escavação) (adaptado de [116]).	102
Figura 53 – Tipos de AAFR na Suécia (secção em aterro) (adaptado de [116]).	103
Figura 54 – Distribuição dos países com uma determinada largura para a zona livre de obstáculos para auto-estradas e estradas expresso de acordo com normas.	106
Figura 55 – Largura da zona livre (adaptado de [4]).	108
Figura 56 – Largura da área de recuperação (adaptado de [119]).	114

1 INTRODUÇÃO

Na União Europeia (UE), morrem anualmente cerca de 37 300 pessoas e 1.6 milhões ficam feridas em acidentes rodoviários (dados de 2009). Os despistes e as colisões entre veículos e objectos fora da faixa de rodagem, tais como árvores ou postes de sinalização, são um problema de segurança rodoviária relevante. Acresce que o número de acidentes desta natureza não tem vindo a diminuir nos últimos anos, ao contrário do que aconteceu com a sinistralidade rodoviária em Portugal em termos globais.

Neste contexto, é fundamental o correcto dimensionamento da infra-estrutura rodoviária, como forma de, por um lado, reduzir os erros humanos (o que, por sua vez, conduz a uma redução dos acidentes verificados) e, por outro, minorar a gravidade das consequências dos acidentes que ocorram (o que pode levar a uma diminuição do número de mortos e feridos originados nesses acidentes).

O interesse do estabelecimento de valores recomendáveis para as características da AAFR é, pois, elevado, podendo ser útil na área de segurança rodoviária, nomeadamente na definição das normas de projectos de estradas novas ou da beneficiação de estradas existentes e nas auditorias de segurança rodoviária.

Ao nível internacional, as normas de traçado rodoviário têm evoluído ao longo do tempo acompanhando a melhoria dos conhecimentos sobre engenharia de tráfego e de segurança. Diversos estudos sobre o tema da AAFR têm sido desenvolvidos nos EUA desde a década de 1960.

Na Europa, a publicação dos primeiros resultados de estudos realizados sobre o tema da AAFR na Holanda e na Suécia data do início da década de 1970. Ainda nesta década, mais concretamente em 1975, o grupo de trabalho em segurança rodoviária da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) publicou um relatório designado *“Roadside Obstacles: Their Effects on the Frequency and Severity of Accidents: Development and*

Evaluation of Countermeasures” e define os princípios fundamentais para a protecção dos obstáculos perigosos presentes na AAFR (citado em [68]).

Na década de 1990 destaca-se a publicação pelo European Transport Safety Council (ETSC) de um relatório designado *“Forgiving Roadsides”* [38], o qual delimita a escala do problema num largo conjunto de países europeus, caracterizando o estado da arte e a prática corrente à data, abordando as suas implicações políticas a nível europeu, nacional e local.

No âmbito de programas-quadro de investigação e desenvolvimento da Comunidade Europeia, têm sido desenvolvidos nos últimos anos diversos trabalhos onde se trata da AAFR, designadamente nos projectos SAFESTAR (4º PQI&D), RISER (5º PQI&D) e RANKERS (6º PQI&D), e da actividade do EuroRap.

Enquadrando o mesmo objectivo, tem sido difundido o conceito de estrada tolerante e auto-explicativa (projecto europeu RIPCORDER – ISEREST), segundo o qual as estradas devem ser concebidas de forma a simultaneamente minimizar o risco de erro por parte dos seus utentes e mitigar as consequências dos erros que venham a ocorrer efectivamente.

Importa igualmente destacar o projecto SUPREME ([98] e [99]) cujo propósito consistiu em recolher, analisar, resumir e publicar boas práticas em matéria de segurança rodoviária dos Estados-Membros da União Europeia, bem como da Suíça e Noruega. O projecto foi encomendado pela DG TREN da Comissão Europeia. Iniciou-se em Dezembro de 2005 e foi concluído em Junho de 2007, tendo contado com a participação de 31 organizações nacionais e internacionais de segurança rodoviária.

No âmbito deste projecto, foi publicado um relatório [98] onde se refere que a AAFR da estrada não deve ser esquecida no dimensionamento de uma estrada segura. É igualmente descrita a importância dos obstáculos presentes na AAFR e dos sistemas de retenção de veículos na segurança rodoviária.

Num passado recente, em 2008, a Conferência Europeia de Directores Rodoviários (CEDR) – na qual Portugal se encontra representado pelo Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias

(InIR) – considerou a criação de áreas adjacentes tolerantes como uma das principais prioridades de curto prazo dos responsáveis rodoviários europeus em matéria de segurança rodoviária [21].

Em Portugal têm sido desenvolvidos estudos nesta área desde a década de 1970. São de referir os trabalhos realizados no LNEC no final da década de 1970 e inícios da década de 1980, de que resultou, nomeadamente, uma proposta de recomendações para classificação e para critérios de instalação e selecção de guardas de segurança ([58], [59] e [60]). Na norma de traçado da Junta Autónoma de Estradas [54] – no capítulo relativo ao perfil transversal – são definidas de forma simplificada as características relativas às bermas e aos separadores centrais (com e sem barreiras de segurança), bem como apontados alguns critérios de colocação de guardas de segurança.

No início da década de 2000, a influência das características da AAFR na sinistralidade rodoviária foi analisada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), tendo daí resultado a publicação de um relatório intitulado *“Área Adjacente à Faixa de Rodagem de Estradas Interurbanas e Sinistralidade”*, estudo realizado para o Instituto para a Conservação e Exploração da Rede Rodoviária (ICERR) [16]. Neste trabalho, a relação entre as características da AAFR e a sinistralidade foram analisadas e foi feita uma primeira abordagem à análise económica dessa relação. Do mesmo trabalho resultou uma dissertação para obtenção do grau de Mestre em Transportes, intitulada *“Influência das Características da Área Adjacente à Faixa de Rodagem na Sinistralidade Rodoviária.”* [83].

No presente documento apresenta-se um conjunto de critérios a seguir para avaliação dos efeitos das características da AAFR sobre a sinistralidade em estradas da Rede Rodoviária Nacional (RRN). Com as devidas adaptações, os critérios apresentados podem ser aplicados em estradas de outros tipos de redes rodoviárias, designadamente as municipais. Refira-se ainda que este constitui a segunda fase do estudo encetado pelo LNEC para o InIR relativo a critérios de segurança para a AAFR. Assim o presente relatório é elaborado em articulação com outro onde é apresentado o conjunto de critérios a seguir para selecção e dimensionamento geral de sistemas de retenção de veículos a instalar em estradas da Rede Rodoviária Nacional (RRN) [84].

Este relatório está organizado em seis capítulos, sendo o primeiro de introdução.

No Capítulo 2 é feito o enquadramento do estudo, sendo abordados os conceitos que estão na base dos valores preconizados, nomeadamente os conceitos de “Estrada auto-explicativa”, “AAFR tolerante” e “Zona livre”.

No Capítulo 3 é descrita a metodologia de análise de acidentes adoptada e são analisados os dados de acidentes envolvendo a área adjacente à faixa de rodagem (AAFR) relativos a diversos países da União Europeia (UE), com destaque para a realidade nacional. É dado particular enfoque as estradas da RRN.

No Capítulo 4 são definidos os critérios para o dimensionamento da AAFR e é analisado o estado da prática actual do projecto da AAFR, nomeadamente no que diz respeito à designada zona livre. É igualmente descrita a prática actualmente em vigor, num vasto conjunto de países, em matéria de segurança da AAFR.

No Capítulo 5 são identificados os diversos obstáculos perigosos que podem estar presentes na AAFR.

No último capítulo apresentam-se as principais conclusões do presente relatório, nomeadamente as características da AAFR preconizadas para estradas portuguesas.

2 ENQUADRAMENTO E CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1 Generalidades

A recente evolução dos sistemas de transporte rodoviário tem evidenciado, de forma crescente, as limitações do ser humano no que se refere às suas capacidades de tratamento de informação e de gestão de tarefas simultâneas. Actualmente, reconhece-se que o adequado projecto e construção das infra-estruturas rodoviárias contribui para a obtenção de bons indicadores de sinistralidade, quer em termos de número de acidentes quer no que se refere às respectivas vítimas.

Na actividade de projecto rodoviário são aplicados conhecimentos sobre técnicas de engenharia de tráfego e sobre o comportamento dos utentes rodoviários, integrados por uma filosofia de traçado. Em diversos países, como é o caso de Portugal, esta filosofia fundamenta-se explicitamente no conceito de "projecto relacional", de acordo com o qual as características dos elementos de traçado não devem ser dimensionadas de forma isolada mas atendendo também ao seu encadeamento sequencial.

Mediante adequados projecto e construção das infra-estruturas rodoviárias é possível obter uma redução continuada das taxas de sinistralidade e, sob condições favoráveis, uma diminuição contínua do número de acidentes [20].

Do ponto de vista da segurança rodoviária, dois objectivos são fundamentais para um adequado projecto rodoviário:

- 1) Prevenir a ocorrência de erros do condutor;
- 2) Mitigar as consequências dos erros que possam vir a ocorrer.

Para se atingir o **primeiro objectivo**, a estrada deve, não só, permitir a acomodação das limitações das capacidades do ser humano, mas também contribuir para o condicionamento (de um modo deliberado) do comportamento dos utentes rodoviários.

A utilização de parâmetros de dimensionamento *desejáveis* e *absolutos* - adaptados a um "utente médio" - deve ser complementada pela consideração de parâmetros representativos das condições mais próximas dos valores extremos, em especial no caso de algumas características críticas, particularmente sensíveis à variabilidade da população (nomeadamente, tempos de decisão e de reacção), e de determinados locais (cruzamentos, nós, curvas), nos quais a tarefa de condução tem um reconhecido acréscimo de complexidade.

A aplicação destes parâmetros extremos (necessariamente mais afastados dos valores médios do que os parâmetros desejáveis) permite a consideração das especiais dificuldades que alguns sub-conjuntos de utentes rodoviários (crianças, utentes idosos, inexperientes ou desconhecedores da estrada) têm ao executar a tarefa de condução em determinados locais críticos, nomeadamente em intersecções, nós desnivelados e, no caso dos lanços entre intersecções (ou nós), nas zonas de descontinuidade de traçado, como sejam curvas horizontais e zonas de redução das dimensões do perfil transversal.

O intervalo de tempo entre veículos, as dimensões do triângulo de visibilidade e o comprimento das vias de viragem à esquerda são exemplos de variáveis críticas em cruzamentos. No caso dos nós de ligação, são especialmente importantes a acumulação de tarefas, a distância de visibilidade de decisão e de paragem, bem como a velocidade de projecto das vias de saída. Em curvas horizontais, são relevantes as diferenças entre os valores da velocidade não impedida e a velocidade de projecto e entre o valor da velocidade desejada na recta anterior à curva e a velocidade não impedida na curva.

Por outro lado, a forma como a estrada foi concebida e construída (designadamente as características do traçado, da envolvente e do equipamento de segurança) condiciona fortemente o comportamento dos utentes rodoviários, o que pode contribuir para a adopção voluntária de comportamentos menos susceptíveis ao erro.

Importa, assim, dispor também de elementos que relacionem explicitamente as características do ambiente rodoviário, a representação que dele fazem os utentes, e o comportamento que, em consequência, adoptam.

Independentemente dos cuidados que se tenham relativamente à mitigação da probabilidade de erro, deve reconhecer-se que os erros inevitavelmente hão-de acontecer, mesmo no caso de as suas probabilidades de ocorrência serem mínimas. Assim, é importante que, como **segundo objectivo**, a estrada seja dotada de condições que garantam que os erros cometidos não correspondam a acidentes com vítimas fatais ou mesmo ferimentos graves.

Por exemplo, nos corredores de circulação em que sejam previsíveis elevados volumes de tráfego de veículos motorizados e de utentes desprotegidos (peões ou ciclistas), estes tráfegos devem ser convenientemente segregados, dotando-os de vias próprias. Em alternativa, poderão ser utilizados dispositivos que impeçam fisicamente a circulação a velocidades muito superiores à velocidade normal dos peões.

Por outro lado, função da velocidade de circulação esperada e do tipo e probabilidade de erro, a estrada deve ser dimensionada de modo a que seja possível a recuperação de pequenos erros ao nível das tarefas de guiamento e de controlo das viaturas.

2.2 Os conceitos de “Estrada Auto-explicativa” e “AAFR tolerante”

No contexto atrás referido e no âmbito do presente estudo, dois conceitos são essenciais: o de “Estrada Auto-explicativa” e o de “AAFR tolerante”, os quais são apresentados com mais pormenor seguidamente.

O traçado rodoviário e a AAFR fornecem informação visual aos condutores dos veículos. O tipo de estrada – uma auto-estrada ou uma estrada rural – deve ser compreensível pelo condutor sem o recurso a sinalização que o explicita. A largura da faixa de rodagem, o tipo de marcação rodoviária e as características da AAFR, entre outros aspectos, devem fornecer pistas aos condutores acerca do seu correcto posicionamento na faixa de rodagem e da velocidade a que devem circular, dando indicações acerca do tipo de utilizadores que é expectável encontrar na infra-estrutura (por exemplo a existência de passeios indicia a possibilidade de circulação de peões) [82].

Como exemplo, pode analisar-se a visão holandesa do “sistema de tráfego rodoviário sustentavelmente seguro” ([63] e[103]), na qual a estrutura da rede rodoviária dispõe de um número limitado de categorias de estrada, cada uma com a sua função (definidas como fluxo, distribuição e acesso). Esta função determina a forma como a estrada e a AAFR devem ser projectadas para, por um lado, induzir o adequado comportamento do condutor (incluindo a escolha da sua velocidade de circulação e o seu posicionamento lateral) e, por outro, contribuir para o necessário nível de segurança da estrada. O processo de, implicitamente, ir informando o condutor acerca das condições de condução apropriadas é necessário para obter uma “Estrada Auto-explicativa”.

O conceito de Estrada Auto-explicativa pressupõe uma configuração da estrada e do respectivo ambiente rodoviário que condicionem o comportamento dos condutores, promovendo, assim, elevados níveis de segurança. Ao definir e manter procedimentos coerentes e uniformes para o projecto da faixa de rodagem e da AAFR, consegue-se que a estrada corresponda às expectativas dos utentes rodoviários e que estes possam perceber alterações nas condições de operação (por exemplo, a existência de cruzamentos de nível ou a presença de peões), mesmo que não tenham observado qualquer sinal a indicar essas alterações. A concepção e o dimensionamento do ambiente rodoviário devem permitir que a estrada transmita o contexto em que o condutor se encontra inserido.

Estes são aspectos da AAFR que fornecem indicações ao condutor, que indiciam naturalmente quais as condições de condução adequadas para um determinado trecho de estrada; no entanto, o contrário também pode verificar-se, como, por exemplo, quando uma linha de balizagem criada por árvores que se vão afastando da estrada induz a sensação de diminuição da velocidade, quando na realidade esta permanece constante. Os factores humanos que influenciam as condições do tráfego não devem ser ignoradas no projecto de AAFR seguras. Dois elementos críticos que podem ser influenciados pelos obstáculos presentes na AAFR são a velocidade do tráfego e o posicionamento transversal dos veículos [82].

Uma “Estrada Auto-explicativa” é então uma estrada concebida e construída de forma a que o comportamento adequado dos condutores seja facilmente percebido e adoptado por estes, evitando assim erros na condução [63].

O segundo conceito a destacar é o de “AAFR tolerante” (“forgiving roadside”). Na área da segurança rodoviária foram obtidos avanços graças ao desenvolvimento de equipamento de segurança eficaz do ponto de vista mecânico e económico, ao melhoramento das características geométricas do traçado, à utilização de zonas de segurança, ao desenvolvimento do processo de concepção, selecção e conservação dos elementos de segurança e à aceitação geral da filosofia subjacente a este conceito.

De acordo com Hayes [44], a maioria dos melhoramentos na segurança envolvendo a AAFR ocorreram a partir da década de 60. Antes disso pouca atenção era dada à segurança destes elementos, sendo a culpa pelos despistes e colisões entre veículos e objectos fora da faixa de rodagem normalmente atribuída à má preparação dos condutores. Esta interpretação da realidade conduziu a que não fosse dada a devida atenção aos elementos de segurança quer ao nível de projecto quer ao nível da construção das infra-estruturas. O conceito de “forgiving roadside” é introduzido naquela época nos EUA. Não sendo conhecida a pessoa que o inventou, atribui-se a K. A. Stonex e a Paul Skeels (entre outros elementos da General Motors Proving), o mérito de reconhecerem a necessidade deste conceito e o facto de o terem divulgado pelos engenheiros de tráfego dos EUA.

Basicamente, uma AAFR tolerante é uma AAFR livre de obstáculos que possam causar danos consideráveis aos ocupantes de um veículo descontrolado. Sendo esta a situação ideal, nem sempre é possível de concretizar, tornando-se assim necessário tratar esse tipo de obstáculos, dotando-os de suportes frágeis ou protegendo o tráfego com sistemas de retenção de veículos.

A questão central desta problemática é a de saber quais as características desejáveis para a AAFR.

Foi inicialmente recomendada uma AAFR com uma largura de 9,1 metros (30 pés) no “*Yellow Book*” da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) de 1967, para as estradas mais importantes da rede interestadual norte-americana (com velocidades de circulação de 100 a 115 km/h). Este valor foi obtido com base em estudos realizados com veículos que inadvertidamente saíam da pista de testes da General Motors Proving. Este valor de 30 pés, essencialmente empírico, tornou-se assim um valor de referência para os engenheiros de tráfego a partir desta altura.

Em 1977, com a publicação do “*Guide for Selecting, Locating, and Designing Traffic Barriers*” da AASHTO, houve uma grande alteração no modo de analisar esta problemática. A largura da AAFR passou a ser função de factores tais como a inclinação do talude ou o volume de tráfego. Dependendo destes factores a largura poderia ser maior ou menor do que 9,1 metros.

Actualmente utilizam-se nos EUA os critérios descritos no “*Roadside Design Guide*” [4] – guia publicado pela AASHTO e que serve de base aos documentos normativos estaduais – de 2002, que não sofreram alterações significativas relativamente aos do mesmo guia nas edições de 1996 e de 1989 (sendo que este último se baseava em informação do “*Barrier Guide*” de 1977). O “*Roadside Design Guide*” está actualmente a ser revisto pelo comité técnico da AASHTO denominado Technical Committee on Roadside Safety, prevendo-se a conclusão da sua actualização em 2010.

Todos os elementos relativos à AAFR podem influenciar despistes e colisões entre veículos e objectos fora da faixa de rodagem, sendo de salientar, no entanto, as bermas, os taludes, os dispositivos de drenagem, os sistemas de retenção de veículos ou os postes de electricidade e telefone.

A segurança da AAFR é uma componente importante do projecto de estradas. O ambiente existente nesta área influencia a segurança rodoviária na sua globalidade; situação ilustrada pelo facto de cerca de um quarto dos acidentes mortais serem devidos a despistes e colisões entre veículos e objectos fora da faixa de rodagem.

Existem diversos motivos para um veículo sair da faixa de rodagem, tais como:

- Falta de atenção ou fadiga do condutor;
- Velocidade excessiva;
- Condução sob o efeito de álcool ou drogas;
- Manobra evasiva de obstáculo na faixa de rodagem;
- Condições da faixa de rodagem;
- Falha de um órgão ou componente do veículo;
- Fraca visibilidade.

Independentemente do motivo, a gravidade das consequências de uma incursão pela AAFR pode ser reduzida se esta for “tolerante”.

Uma questão fundamental desta problemática é saber se é possível evitar acidentes mortais de veículos que saem descontroladamente da faixa de rodagem. Outra refere-se à forma de conseguir tal objectivo.

Neste contexto, da estrada ideal fazem parte áreas adjacentes e separadores centrais planos e livres de obstáculos perigosos. Infelizmente, por motivos económicos ou geográficos não é possível a construção de estradas ideais; assim, taludes, objectos fixos, e zonas de água são exemplos de potenciais obstáculos perigosos que um veículo pode encontrar quando sai da faixa de rodagem de uma estrada real. Estes elementos representam diferentes níveis de perigo para os veículos e para os seus ocupantes. As medidas a tomar dependem de três factores: da probabilidade de ocorrência de acidentes, da sua gravidade, e dos recursos disponíveis.

As medidas a tomar relativamente a um obstáculo perigoso são, por ordem de preferência, as seguintes ([2], [4], [71], [82], [86] e [119]):

- A sua remoção;
- O seu reposicionamento;
- A redução da intensidade do impacto (através da utilização de suportes frágeis ou tornando o perigo atravessável);
- A protecção do tráfego com um sistema de retenção de veículos.

Na selecção das medidas a tomar, há que ter em consideração não só o seu custo (inicial e de ciclo de vida) e as condições de conservação, mas também a gravidade dos acidentes a prevenir. A utilização de sistemas de retenção de veículos só é aconselhada quando todas as outras medidas não puderem ser aplicadas de forma adequada.

Importa realçar a dificuldade em encontrar exemplos na Europa de estradas que, simultaneamente, possuam boas características auto-explicativas e áreas adjacentes tolerantes [82]. Como exemplo, a Figura 1 mostra uma secção de estrada com dupla faixa de rodagem, uma passagem aérea para peões, bermas largas e pavimentadas, *taludes recuperáveis* e barreiras de segurança para protecção dos obstáculos perigosos. O ambiente rodoviário em auto-estradas é conhecido para qualquer condutor europeu: são permitidas elevadas velocidades de tráfego (acima dos 80 km/h), não irão surgir peões na *zona da estrada* e não haverá viragens à esquerda a atravessar a faixa de rodagem. A AAFR tolerante é parcialmente atingida pela protecção relativamente aos obstáculos perigosos (pilares em betão armado) próximos da faixa de rodagem com uma guarda de segurança. A valeta que se encontra junto aos pilares é protegida pelo terminal da barreira de segurança, o qual, simultaneamente, impede que um veículo descontrolado se mova por detrás da barreira. Complementarmente, a berma pavimentada permite uma área para manobrar o veículo no caso de o condutor não estar atento, e o talude que está para lá da berma pavimentada é de baixa inclinação e livre de obstáculos perigosos numa largura de 10 metros.



Figura 1 – Estrada auto-explicativa com AAFR tolerante [82].

Merece contudo destaque na Figura 1 a posição demasiado próxima das barreiras de segurança presentes no separador central relativamente às colunas de iluminação. Se não houver espaço suficiente entre a barreira e as referidas colunas, o desempenho daquela poderá ser seriamente afectado durante uma colisão. O terminal enterrado na valeta também pode apresentar um perigo, uma vez que pode causar o capotamento de um veículo descontrolado.

Por último, é de referir o exemplo da Suécia que, no âmbito da denominada “Visão Zero”¹, já incorpora nas suas normas o conceito de “AAFR tolerante”.

É sabido que o sistema de transportes não está, muitas vezes, adaptado ao facto dos seus utilizadores cometerem erros. Amiúde, pequenos erros são punidos com a morte. O trabalho desenvolvido na Suécia, no âmbito da “Visão Zero”, baseia-se no princípio de tudo fazer para evitar a ocorrência de mortos ou feridos graves em resultado de acidentes rodoviários. Ao mesmo tempo que é feito um esforço para prevenir os acidentes, o sistema de transportes é dimensionado tendo em consideração a ocorrência de erros humanos e a

¹ De acordo com a “Visão Zero”, não é admissível a ocorrência de mortos ou feridos graves em resultado do funcionamento do sistema de transporte.

inevitabilidade dos incidentes, procurando-se que deles não resulte um único morto ou ferido grave [118].

Neste contexto a norma de traçado “VU94 (Road Design 94)” [116] introduziu o recurso sistemático ao conceito de “AAFR tolerante” na Suécia. Os conceitos fundamentais focados na referida norma são a zona livre (descrito em 2.3) e os diferentes tipos de AAFR.

Os tipos de AAFR são definidos na referida norma de acordo com a manobrabilidade expectável do veículo que faz uma incursão pela AAFR. Neste contexto, entende-se aí por manobrabilidade a capacidade que o condutor de um veículo descontrolado tem para – admitindo que esteja desperto, sem pânico e a cumprir o limite de velocidade – conseguir recuperar o controlo do veículo em tempo útil. A recuperação do veículo implica, naturalmente, o seu não capotamento e a ausência de perda de contacto com o solo.

A análise da manobrabilidade na AAFR foi feita neste âmbito recorrendo a ensaios com veículos de teste e a software de simulação de acidentes, tendo os seus resultados sido transpostos para a norma VU 94. Assim, resultou da análise efectuada que [116]:

- AAFR com inclinação inferior a 1V:6H e 1V:4H conduz, respectivamente, a uma “muito elevada” ou “elevada” probabilidade de manobrabilidade do veículo, o que permite verificar, a AAFR de tipo A ou de tipo B;
- AAFR com inclinação igual ou superior a 1V:3H equivale a “elevada probabilidade” de capotamento ou perda de contacto com o solo, por parte de um veículo descontrolado, atribuindo-se à AAFR a classificação de tipo C.

2.3 O conceito de zona livre

Como já foi anteriormente referido, para assegurar níveis de segurança satisfatórios, é desejável a existência de áreas adjacentes à faixa de rodagem livres de obstáculos perigosos que deverão ser tão amplas quanto as condições existentes no local o permitam. Estas áreas constituem a designada zona livre (também referenciada em alguma bibliografia europeia como zona de segurança).

A zona livre poderá ter larguras diferentes ao longo de toda a estrada, mas deverá necessariamente estar livre de obstáculos perigosos tais como: vegetação arbórea de porte considerável, dispositivos de drenagem perigosos, equipamento de segurança rígido (por exemplo, suportes de sinalização e iluminação), postes de electricidade ou telefone e taludes de elevada inclinação ou com arestas vincadas.

Quando os obstáculos perigosos não podem ser removidos da AAFR, ou removidos para local seguro ou ainda modificados, nomeadamente com dispositivos frágeis, o tráfego rodoviário deve ser normalmente protegido por um sistema de retenção de veículos. Estes sistemas são concebidos e localizados de forma a controlar o veículo que sai da plataforma, bem como redireccioná-lo paralelamente à mesma, para que o condutor possa recuperar o controlo do veículo.

As consequências de uma saída descontrolada da faixa de rodagem dependem, por um lado, do comportamento do binómio condutor-veículo e, por outro, das características da superfície da AAFR. Variações bruscas e acentuadas da inclinação dos taludes podem provocar a perda do controlo da viatura e, mesmo, a perda do contacto desta com o solo. Por oposição, variações suaves da inclinação dos taludes garantem a manutenção do contacto do veículo com o solo e uma maior segurança.

Na análise da influência de obstáculos perigosos na sinistralidade, a zona livre é o primeiro elemento a ter em conta. Independentemente da estrada em análise e das condições existentes na mesma, o objectivo é sempre o de proporcionar uma área de recuperação atravessável e o mais desobstruída possível.

Nos EUA, com o *“Yellow Book”* em 1965, foi introduzido o conceito de “zona livre” na AAFR, a qual seria desobstruída e relativamente plana [2]. Tornou-se globalmente aceite que a largura desta zona livre deveria depender da velocidade de circulação, sendo, também, mais larga nas zonas em que os veículos têm maior probabilidade de sair da faixa de rodagem, como é o caso do extradorso das curvas horizontais.

Nos últimos 45 anos, tem vindo a verificar-se em diversos outros países uma aceitação crescente do conceito como parte importante do projecto do perfil transversal da estrada. Nesta matéria é de salientar que, tal como acontece nos EUA, três países europeus – França, Holanda e Suécia – têm recomendações técnicas específicas para o dimensionamento da AAFR.

Em França existem dois conceitos relativos à segurança na AAFR (ver Figura 2): a zona de recuperação e a zona de segurança ([89], [90] e [92]).

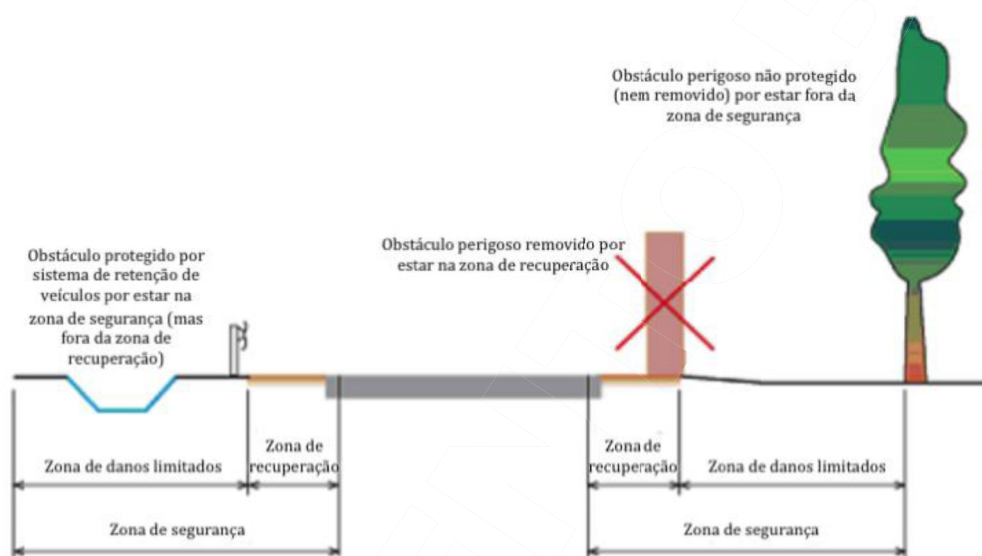


Figura 2 – Zona de recuperação e a zona de segurança (adaptado de [90]).

A “zona de recuperação” refere-se à área correspondente à berma pavimentada, tendo as seguintes funções principais:

- Permitir aos veículos que saiam da faixa de rodagem a recuperação das suas trajectórias, através de uma manobra de correcção da trajectória (mudança de direcção ou travagem), razão pela qual se designa “zona de recuperação”;
- Ajudar a evitar colisões em cadeia, ao permitir manobras de emergência na berma;
- Permitir a utilização da estrada em segurança, por parte de peões e ciclistas;
- Fornecer o espaço necessário a um veículo imobilizado;

- Facilitar as operações de conservação da faixa de rodagem e dos elementos que lhe estão associados.

No caso da berma ter uma largura não inferior a 2.5 metros é possível a sua utilização para a eventual circulação de veículos de emergência.

Na denominada “zona de segurança”, que inclui a zona de recuperação, é essencial a remoção de todos os obstáculos perigosos e de valetas profundas, sendo admitidos, pontualmente, obstáculos isolados cuja remoção não seja possível. Neste caso particular, é aceite a utilização de sistemas de retenção de veículos, desde que a zona de recuperação – correspondente à berma pavimentada – esteja livre de qualquer obstáculo.

Na Holanda, o “SWOV – Institute for Road Safety Research” tem vindo a estudar estas matérias desde os anos 60 [104], tendo Schoon desenvolvido nos anos 90 um estudo acerca da relação entre uma AAFR segura e os critérios de instalação de sistemas de retenção de veículos. Inicialmente os estudos concentraram-se na construção de barreiras de tráfego e outros sistemas de retenção para obstáculos em auto-estradas, seguindo-se o estudo de barreiras de tráfego específicas para estradas de faixa de rodagem única.

Concluiu-se que a medida mais eficaz consiste na criação de uma AAFR tão larga quanto possível e livre de obstáculos perigosos. Essa zona não poderá conter objectos que possam causar danos sérios a um veículo descontrolado nem ferimentos graves aos seus ocupantes em caso de colisão. Obstáculos fixos e resistentes ao choque presentes na AAFR, tais como postes de alumínio e telefones de emergência, podem ser posicionados nesta zona, desde que sejam concebidos para que entrem em colapso sem absorção de energia quando atingidos por um veículo. Também poderá haver um talude nesta zona, desde que a sua inclinação não seja demasiado acentuada. Nos anos 1980, o SWOV desenvolveu investigação experimental e simulações computacionais para determinar quais os ângulos de inclinação considerados aceitáveis. Para talude de aterro, a inclinação não deverá ultrapassar 1V:6H. Em taludes de escavação essa inclinação não deverá ser superior a 1V:2H [105].

Assim, e segundo Schoon [87], para se atingir o objectivo de zonas adjacentes à faixa de rodagem seguras existem as seguintes possibilidades:

- uma zona livre sem obstáculos (e sem barreiras de tráfego),
- uma zona livre com talude seguro,
- uma zona livre com objectos fixos que cedem facilmente após a colisão,
- uma zona livre com amortecedores de choque,
- uma zona livre com uma barreira de tráfego em funcionamento efectivo.

Refira-se que esta lista – tal como acontece com a “zona de segurança” em França – corresponde à estratégia utilizada nos EUA denominada “forgiving roadside” ([2], [4], [115] e [119]), já referida anteriormente.

Em 2007, a nova norma de traçado holandesa para auto-estradas, “Nieuwe Ontwerprichtlijn Autosnelwegen” [75], define um conjunto de elementos relacionados com a AAFR, (nomeadamente, zona livre, obstáculo e talude), de acordo com a descrição anterior, fornecendo indicações sobre como minimizar o risco para os ocupantes no caso de colisão com obstáculos fora da faixa de rodagem. Destaca-se neste documento a referência a que a criação de uma AAFR livre de obstáculos ser, do ponto de vista da segurança rodoviária, bastante melhor do que a protecção do tráfego através de sistema de retenção de veículos.

No âmbito do projecto RISER, do 5º Programa-Quadro de I&D da União Europeia, foi elaborada uma análise comparativa das regras de dimensionamento da AAFR em 7 países europeus (França, Holanda, Suécia – anteriormente referidos –, Finlândia, Alemanha, Grã-Bretanha e Espanha), limitando-se a análise a documentos nacionais oficiais.

Os sete países analisados adoptaram o conceito de “zona livre”² como uma AAFR, livre de quaisquer obstáculos perigosos, disponível para o uso seguro por parte de veículos descontrolados (ver Quadro 1).

² Que designam por “zona de segurança”.

Quadro 1 – Definição de zona livre em diversos países europeus
(adaptado de [76]).

País	Definição
Finlândia	Zona sem obstáculos perigosos.
França	Inclui uma área de recuperação e uma zona livre de obstáculos perigosos dimensionada para mitigar a gravidade de um acidente.
Alemanha	Zona sem obstáculos perigosos.
Grã-Bretanha	Zona que não deverá incluir obstáculos perigosos. Contudo, é aceite a utilização de barreiras de segurança, nos casos em que algum elemento perigoso esteja presente na referida zona. O termo "zona de segurança" não é aplicado especificamente e a norma é obrigatória em auto-estradas e itinerários principais.
Holanda	Zona plana, com uma largura mínima sem obstáculos que não pode causar elevada deterioração do veículo.
Espanha	Zona livre de qualquer obstáculo perigoso. A mesma deverá dispor de, pelo menos, uma berma ou de uma berma e uma área adjacente à plataforma (quando não for necessária a presença de sistema de retenção de veículos).
Suécia	Zona sem obstáculos perigosos.

Dois países europeus (França – de acordo com o anteriormente descrito – e Alemanha) diferenciam uma zona especial na zona livre, designada “área de recuperação”, que pode ser definida como a área correspondente à berma pavimentada, que permite aos condutores dos veículos que saiam da faixa de rodagem a recuperação do controlo sobre os mesmos, através de uma manobra de correcção da trajectória ou que permite manobras de emergência na berma.

Em alternativa, outros países (Finlândia, Grã-Bretanha, Holanda, Espanha e Suécia) incluem a área de recuperação na zona livre, não a considerando como um elemento singular da AAFR.

O conceito de área de recuperação não está referenciado em todos os países da União Europeia analisados. Em diversos países, esta zona é relacionada sobretudo com a utilização para outros fins, nomeadamente, permitir manobras de viragem à esquerda, permitir manobras de emergência e de salvamento, e para a circulação de bicicletas e peões fora da faixa de rodagem.

Quadro 2 – Abordagem do conceito de “área de recuperação” em diversos países europeus (adaptado de [76]).

País	Definição
Finlândia	Não está especificado nas normas finlandesas. Em vez disso, o dimensionamento da área de recuperação é parte integrante da norma de dimensionamento da secção transversal da estrada, a qual inclui os taludes fronteiro e posterior e a valeta, tendo como critérios de dimensionamento o volume de tráfego e o limite de velocidade imposto por sinalização.
França	Área da berma pavimentada, que permite aos veículos que saiam da faixa de rodagem a recuperação das suas trajectórias, através de uma manobra de correcção da trajectória ou que permite manobras de emergência na berma
Alemanha	Berma com largura suficiente para permitir, em determinadas estradas, manobras de salvamento e emergência.
Grã-Bretanha	Utiliza-se o termo berma pavimentada em vez de área de recuperação. Quando existe, esta área está incluída na zona de segurança. A área de recuperação é uma berma pavimentada, que permite aos veículos que saiam da faixa de rodagem a recuperação das suas trajectórias, através de uma manobra de correcção da trajectória. No caso das auto-estradas, a mesma deverá ter uma largura suficiente para manobras de emergência e salvamento.
Holanda	Zona integrada no conceito de zona de segurança. É uma berma pavimentada, que permite aos veículos que saiam da faixa de rodagem a recuperação das suas trajectórias, através de uma manobra de correcção da trajectória.
Espanha	Área que permite aos veículos que saiam da faixa de rodagem a recuperação das suas trajectórias, através de uma manobra de correcção da trajectória. Esta zona inclui a área entre a faixa de rodagem e o sistema de retenção. A área de recuperação está incluída na zona de segurança.
Suécia	Zona integrada no conceito de zona de segurança (não são elementos distintos nas normas suecas).

Para o adequado dimensionamento da AAFR é necessário identificar, numa primeira fase, as características do veículo, do condutor, da faixa de rodagem e da AAFR que podem influenciar o seu desempenho num acidente com despiste. O conceito fundamental para uma AAFR segura é o de que um veículo descontrolado não entrará em contacto com qualquer obstáculo perigoso do qual resulte uma colisão com consequências graves para os ocupantes do mesmo.

Para tal é necessário, por um lado, evitar que o veículo capote e, por outro, remover os objectos dentro da zona livre (ver Figura 3). A ideia que, implicitamente, está por detrás deste conceito é a de que o veículo sai da faixa de rodagem e atravessa toda a zona livre, ficando mais lento, mitigando-se dessa forma as consequências de qualquer embate que ocorra para lá da mesma. Idealmente, o veículo nunca deve sair desta zona; pelo contrário, o condutor deve ser capaz de controlar e parar o veículo dentro dos limites lateral e longitudinal da zona livre.



Figura 3 – Zona livre.

A atestar a relevância das características da AAFR no que à sinistralidade diz respeito, refiram-se, a título de exemplo, os estudos realizados por McGee [64] e Elvik *et al.* [31].

De acordo com McGee [64] a supressão, ou a remoção para locais mais afastados da faixa de rodagem, de obstáculos perigosos que se encontrem junto ao limite desta resulta numa redução no número de acidentes, conforme expresso no Quadro 3. A percentagem de

redução aplica-se independentemente das condições iniciais do local. Contudo, uma vez que nas estradas com zona livre reduzida ou inexistente a probabilidade de ocorrência de acidentes é maior que nas estradas com zona livre mais larga, a redução de acidentes (em termos absolutos) será superior neste tipo de estradas.

Quadro 3 – Percentagem de redução de acidentes para aumentos da largura da zona livre (adaptado de [64]).

Valor do aumento da largura da zona livre (m)	Redução no total de acidentes relacionados com a AAFR (%)
1.5	13
2.4	21
3.0	25
3.7	29
4.6	35
6.1	44

No mesmo sentido aponta o estudo de Elvik *et al.* [31] cujos resultados se encontram tabelados no Quadro 4:

Quadro 4 – Efeito do aumento da largura da zona livre no número de acidentes (adaptado de [31]).

Aumento da largura da zona livre	Tipo de acidente afectado	Percentagem de alteração do número de acidentes	
		Melhor estimativa	Intervalo de Confiança de 95%
De 1 metro para 5 metros	Todos	-22	(-24;-20)
De 5 metros para 9 metros	Todos	-44	(-46;-43)

3 CARACTERIZAÇÃO DA SINISTRALIDADE ENVOLVENDO A AAFR

3.1 Introdução

Um acidente pode ser encarado como o reflexo de problemas de fronteira no sistema de transporte rodoviário, possíveis quando as solicitações que lhe são feitas excedem a respectiva capacidade. A frequência da sua ocorrência pode ser expressa como o produto de um factor de risco por um parâmetro de exposição [18]:

$$\text{Frequência de acidentes} = f(\text{Risco}) \times \text{Exposição}$$

À exposição corresponde o número de oportunidades para a ocorrência de acidentes numa unidade espacial, durante um intervalo de tempo. O risco é definido como a probabilidade condicionada de que um acidente realmente ocorra, dada a verificação de uma oportunidade para a sua ocorrência. O número total de acidentes numa determinada entidade (espacial e temporal) depende, assim, de um factor de risco e de um parâmetro de exposição ao risco.

O conjunto dos possíveis parâmetros de exposição inclui variáveis como o tráfego, o número de veículos, as condições meteorológicas, etc. O risco é a variável usada na avaliação do funcionamento do sistema de tráfego do ponto de vista da segurança.

No âmbito do presente trabalho procedeu-se à análise de dados estatísticos sobre acidentes e sobre a estrada, o que constitui um dos métodos de diagnóstico da insegurança da circulação rodoviária mais vulgarmente usados em engenharia rodoviária [18].

Para efeitos de análise ao nível internacional foi utilizada a base de dados da União Europeia (UE) “Community Road Accident Database” (CARE). A CARE é uma base de dados comunitária de acidentes rodoviários, baseada na informação sobre acidentes recolhida pelos diferentes Estados Membros da UE. A referida base de dados apresenta uma significativa desagregação da informação, permitindo analisar aprofundadamente e de forma flexível a informação contida no sistema. Esta base de dados é mantida pela Direcção-Geral da Mobilidade e dos Transportes (DGMOVE). O objectivo principal da CARE é disponibilizar

uma potente ferramenta capaz de permitir a identificação e a quantificação dos problemas de segurança rodoviária a nível europeu, bem como a avaliação da eficiência das medidas de segurança rodoviária implementadas. A determinação da relevância das acções da Comunidade e a troca de experiências neste campo são outros dos objectivos que a CARE se propõe alcançar [30]

Na rede de estradas portuguesa, a análise foi feita recorrendo à base de dados de acidentes rodoviários, existente no Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Esta base de dados contém a informação recolhida através do preenchimento do “Boletim Estatístico de Acidentes de Viação” da Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR) pela Polícia de Segurança Pública (PSP) e pela Guarda Nacional Republicana (GNR).

Uma das deficiências da base de dados CARE consiste na impossibilidade de cruzar a informação sobre acidentes com outra sobre factores de exposição, por exemplo, dados sobre a estrada, designadamente sobre o volume de tráfego. Não foi, por isso, possível considerar na análise ao nível europeu um factor de exposição relacionado directamente com o tráfego, mas tão só ligado à população residente. Já no caso da análise da RRN, foi possível considerar o factor tráfego e estimar taxas de sinistralidade.

A análise efectuada compreendeu os passos seguintes:

- Desagregação da rede de estradas portuguesa;
- Definição do período de recolha dos dados;
- Estabelecimento de critérios de selecção de acidentes relevantes;
- Definição de indicadores a utilizar;
- Análise dos dados de sinistralidade envolvendo apenas um veículo em termos globais;
- Análise de despistes na RRN.

3.2 Desagregação da rede de estradas portuguesa

Ao nível nacional, considerou-se a rede de estradas dividida em dois grandes subconjuntos: o subconjunto de estradas da Rede Rodoviária Nacional (RRN), incluídas no Plano Rodoviário (PRN) de 2000; e o sub-conjunto das restantes estradas, incluindo estradas municipais, vias urbanas sob administração municipal, estradas florestais e as estradas nacionais integradas no Plano Rodoviário de 1945 mas transferidas para os municípios pelos PRN de 1985 e 2000 (estradas desclassificadas).

Foi dada uma especial atenção às estradas incluídas no PRN de 2000. Esta opção ficou a dever-se a dois motivos:

- a possibilidade de considerar na RRN o volume de tráfego como factor de exposição ao risco,
- o facto de não existirem dados sistemáticos, actualizados e organizados acerca do tráfego existente nas restantes estradas do País.

3.3 Recolha dos dados

Foi necessário recorrer a dados com um recuo histórico considerável, tendo em vista a obtenção de um conjunto de ocorrências utilizável estatisticamente.

Quando esta tarefa foi realizada datavam de 2007 os elementos mais recentes sobre sinistralidade (na base de dados do LNEC) e os relativos à infraestrutura disponíveis informaticamente, razão pela qual se limitou superiormente a análise a 2007.

Assim, para efeitos de modelação da sinistralidade na RRN, adoptaram-se os seguintes períodos:

- dezassete anos para os dados europeus (1991 a 2007), correspondentes à totalidade dos dados existentes na CARE;
- oito anos para a RRN (2000 a 2007).

Importa salientar que as limitações associadas à utilização de dados históricos sobre a sinistralidade para o diagnóstico da insegurança rodoviária, são neste caso maiores do que o habitual, uma vez que os dados existentes em Portugal acerca da área adjacente à faixa de rodagem são, exclusivamente, relativos às bermas (e mesmo estes não constam de forma desagregada do “Boletim Estatístico de Acidentes de Viação”), não havendo, por exemplo, informação acerca da largura da zona livre ou a descrição do objecto com o qual o veículo colidiu. De referir que, até 1998, não havia sequer informação sobre a existência de sistemas de retenção de veículos na área adjacente à faixa de rodagem.

3.4 Critérios de selecção de acidentes relevantes

Foram seleccionados para a presente análise os acidentes envolvendo apenas um veículo, ou seja, aqueles em que o condutor de um veículo descontrolado saiu da faixa de rodagem e embateu num obstáculo perigoso presente na AAFR.

No que diz respeito à base de dados CARE, e atendendo aos campos de informação uniformizada ao nível da UE aí existentes, os critérios de selecção considerados foram os seguintes:

- Acidentes envolvendo um único veículo;
- Nenhum peão envolvido no acidente;
- Acidentes no período compreendido entre 1991 e 2007;
- Acidentes com mortos, feridos graves e feridos ligeiros;

Para os referidos critérios, o número total de acidentes registado foi de 2 777 004 acidentes, tendo Portugal 170 899 acidentes desta natureza durante o referido intervalo de tempo.

No que se refere aos dados recolhidos na base de dados de acidentes do LNEC, o conjunto de critérios de selecção utilizados na RRN foi o seguinte:

- Acidentes envolvendo um único veículo (no caso do actual “Boletim Estatístico de Acidentes de Viação” correspondentes a “Despistes”);
- Nenhum peão envolvido no acidente;

- Acidentes no período compreendido entre 2000 e 2007;
- Acidentes com mortos, feridos graves e feridos ligeiros;
- Acidentes fora de cruzamentos.

Para este conjunto de critérios o número de acidentes registado na RRN foi de 32 208 acidentes (cerca de 38% do total de acidentes registados neste período na RRN).

Relativamente aos critérios anteriormente apresentados na base CARE, para idêntico período (2000 e 2007) estão registados 1 285 395 acidentes, correspondendo a Portugal 88 006 acidentes desta natureza.

3.5 Indicadores utilizados

Foram definidos quatro índices, dois dos quais relativos à gravidade dos acidentes ocorridos:

- a taxa de acidentes corporais, correspondente ao número de acidentes por 100 000 habitantes;
- o índice de mortalidade, que representa o número de mortos por 100 acidentes;
- o índice de vítimas, que corresponde ao número de mortos e vítimas (feridos graves e feridos ligeiros) por 10 acidentes;
- a taxa de sinistralidade grave, relativa ao número de mortos e feridos graves por 10^6 veículos×km.

De acordo com Cardoso [18] o que, no período considerado, estava estabelecido ao nível nacional para classificar as vítimas dos acidentes rodoviários era:

- morto em acidente implica o óbito da vítima em consequência do acidente até à entrada no Hospital;
- ferido grave implica o internamento em estabelecimento hospitalar durante 24 horas ou mais;
- ferido ligeiro corresponde ao ferido que, recebendo tratamento, não tenha sido internado.

3.6 Análise dos dados

O Quadro 10 refere-se à taxa de acidentes corporais (correspondente ao total de despistes por 100 000 habitantes) em 10 Estados Membros da UE no período compreendido entre 2000 e 2007. Destacam-se o Reino Unido e a Espanha com valores médios de 31 353 e 25 752 despistes por 100 000 habitantes, respectivamente. No extremo oposto encontram-se a Dinamarca e a Finlândia com os valores médios de 1 393 e 1 840 por 100 000 habitantes. No conjunto de países analisado, Portugal situa-se em quarto lugar com uma média de 11 000 despistes por 100.000 habitantes.

Quadro 5 – Taxa de acidentes corporais (despistes por 100 000 habitantes).

País	Ano							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Austria	9 919	10 187	9 971	10 175	9 838	9 681	9 161	10 067
Bélgica	10 716	10 614	9 769	10 090	9 905	9 353	9 631	
Dinamarca	1 645	1 588	1 630	1 492	1 335	1 195	1 100	1 158
Espanha	25 166	25 562	25 438	26 960	24 917	24 845	27 377	
Finlândia	1 855	1 894	1 880	2 230	2 123	2 259	2 193	286
França	25 098	24 717	22 919	19 176	17 338	17 707	16 897	16 746
Grécia	4 218	3 442	2 757	2 642	2 741	3 047	2 841	
Portugal	10 493	10 836	11 428	11 912	10 883	10 867	10 760	10 827
Reino Unido	32 722	33 816	32 432	32 797	32 440	30 258	28 829	27 531
Suécia	4 743	4 901	5 270	6 007	6 042	6 256	6 209	6 572

É de realçar a importância que representa este tipo de acidentes ao nível europeu, com relevância para países como Portugal, Espanha ou Suécia, como se pode verificar na Figura 4. É ainda de destacar a sua crescente incidência em Portugal nas últimas décadas, a que não será alheia a crescente percentagem de quilómetros percorridos em auto-estrada.

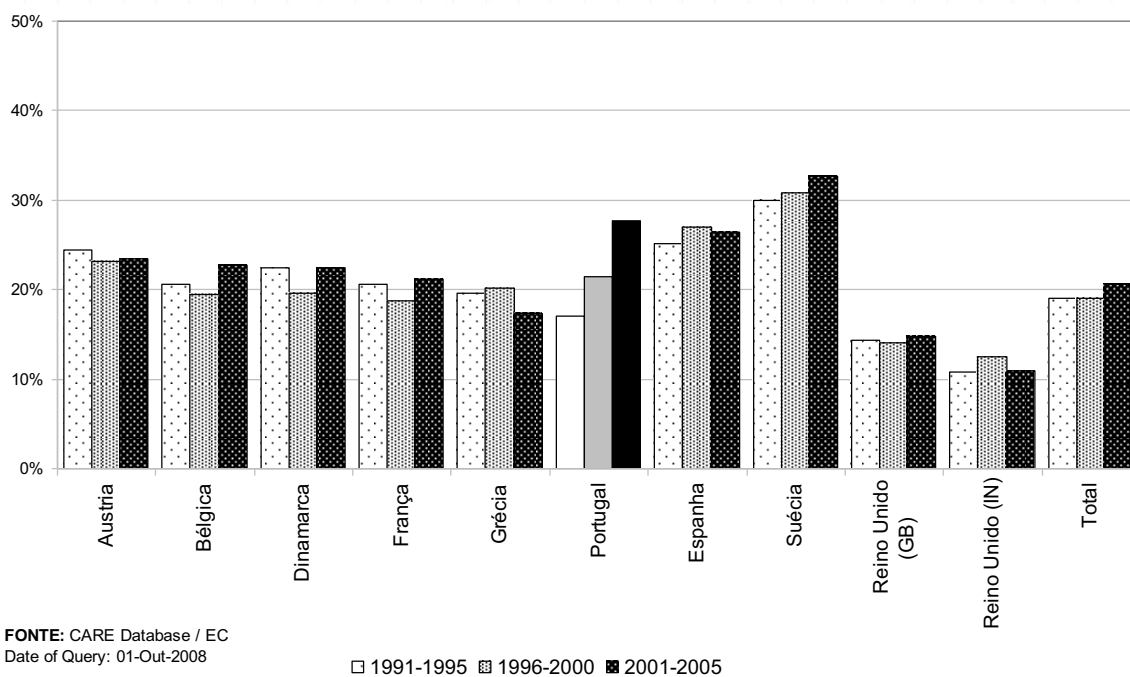


Figura 4 – Distribuições percentuais de despistes por país.

Portugal regista, nesta matéria, uma evolução porventura paradoxal. Com efeito, o número de acidentes com despistes tem vindo sistematicamente a aumentar, apesar de o número total de acidentes (que engloba os primeiros) ter diminuído continuamente (ver Figura 5).

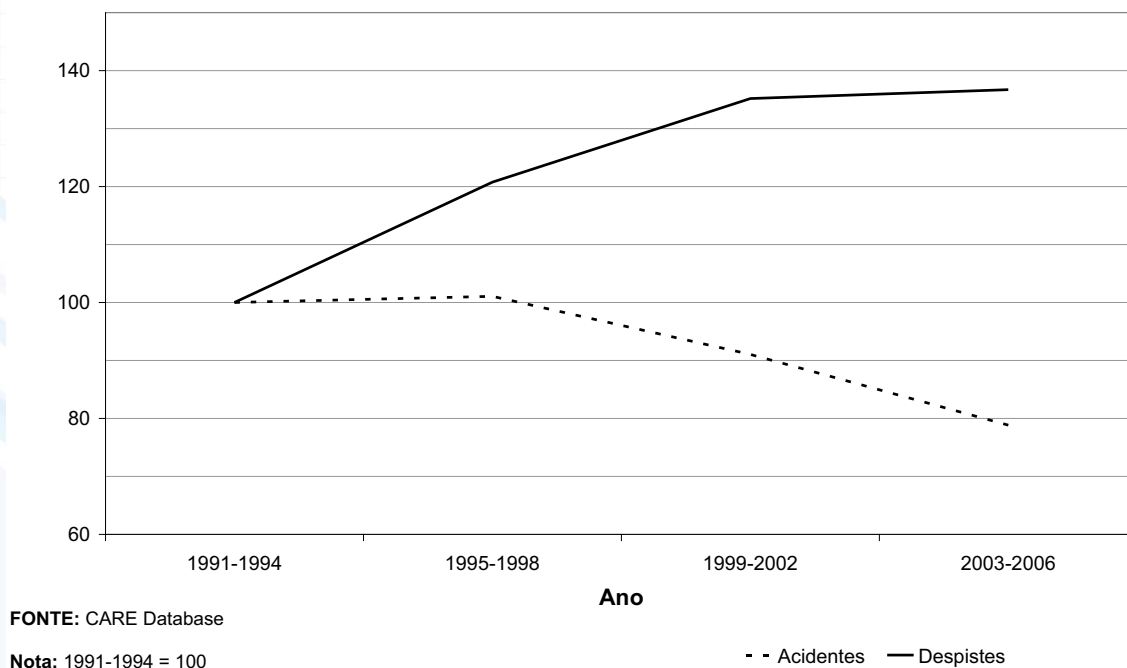


Figura 5 – Evolução dos números de acidentes e de despistes em Portugal (1991-2006).

No período de 2001 a 2005 os despistes foram responsáveis por 21% dos acidentes ocorridos nos 10 Estados Membros da UE anteriormente referidos (correspondentes a 597 176 acidentes dos 2 906 803 acidentes observados). Em Portugal os despistes corresponderam, em período homólogo, a 28% dos acidentes ocorridos (55 926 despistes).

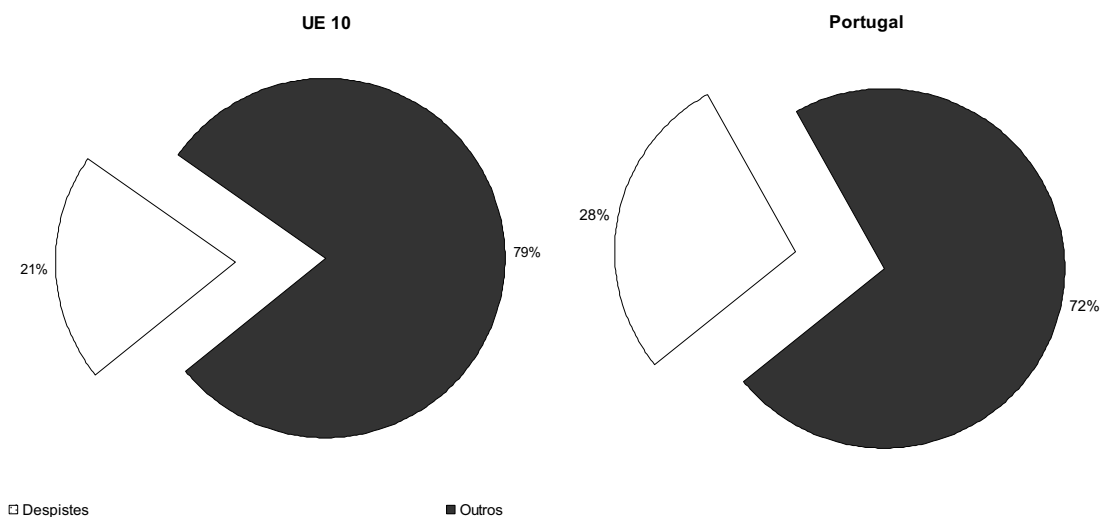


Figura 6 – Comparação da distribuição percentual de acidentes com despiste em 10 países da UE e em Portugal no período de 2001 a 2005.

No mesmo período, os despistes foram responsáveis por 29% dos mortos e feridos graves nos 10 países referidos (correspondentes a 205 389 mortos e feridos graves) e 31% dos mortos e feridos graves em estradas portuguesas (9 188 mortos e feridos graves).

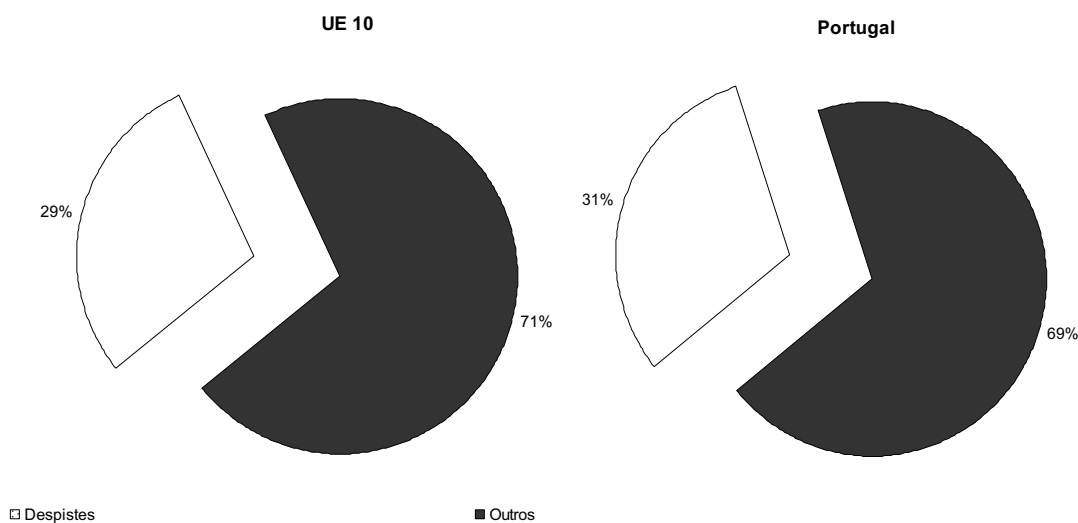


Figura 7 – Comparação da distribuição percentual de mortos e feridos graves em acidentes com despiste em 10 países da UE e em Portugal no período de 2001 a 2005.

A evolução do índice de mortalidade em despistes tem sido, para a maioria dos países analisados (ver Figura 8), no sentido do decréscimo da mortalidade (principalmente nos países em que esta é mais significativa como é o caso de Portugal).

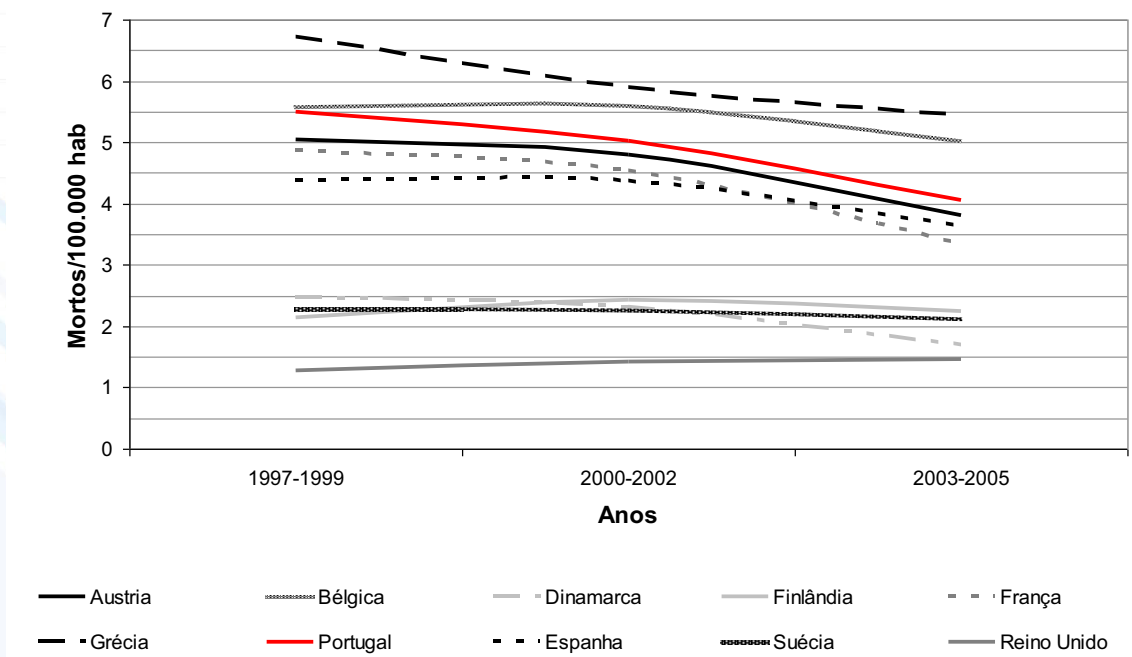


Figura 8 – Evolução do número de mortos por 100 000 habitantes em despistes.

3.7 Despistes na RRN

Na base de dados de acidentes do LNEC estão registados como ocorrendo na RRN 85 871 acidentes corporais no período analisado (2000 a 2007), originando 4 720 mortos, 12 518 feridos graves e 116 592 feridos ligeiros. Cerca de 38% dos acidentes foram despistes, de que resultaram 32% dos mortos, 35% dos feridos graves e 36% dos feridos ligeiros.

Em termos gerais, verificou-se um índice de mortalidade de 5.5 e um índice de vítimas de 15.6. Relativamente aos despistes, aqueles índices apresentaram valores de 4.7 e 14.7, respectivamente.

Os acidentes ocorridos no período analisado em estradas da RRN foram desagregados de acordo com diversas particularidades, ligadas às características do local de ocorrência e à tipologia do acidente.

Relativamente ao local, foram utilizados os seguintes critérios:

- estradas de faixa de rodagem única ou dupla;
- dentro de localidades ou fora de localidade;
- condições atmosféricas (ausência ou ocorrência de precipitação).

No que diz respeito à tipologia do acidente, fez-se a distinção entre o sub-conjunto de despistes e o sub-conjunto dos restantes acidentes.

Na RRN verificou-se tendência idêntica à descrita para a totalidade da rede, ou seja, um acréscimo percentual do número de despistes nos últimos anos (Figura 9), com particular significado no caso das estradas de dupla faixa de rodagem, nas quais cerca de metade dos acidentes ocorridos (5 363 entre 2004 e 2007) foram despistes.

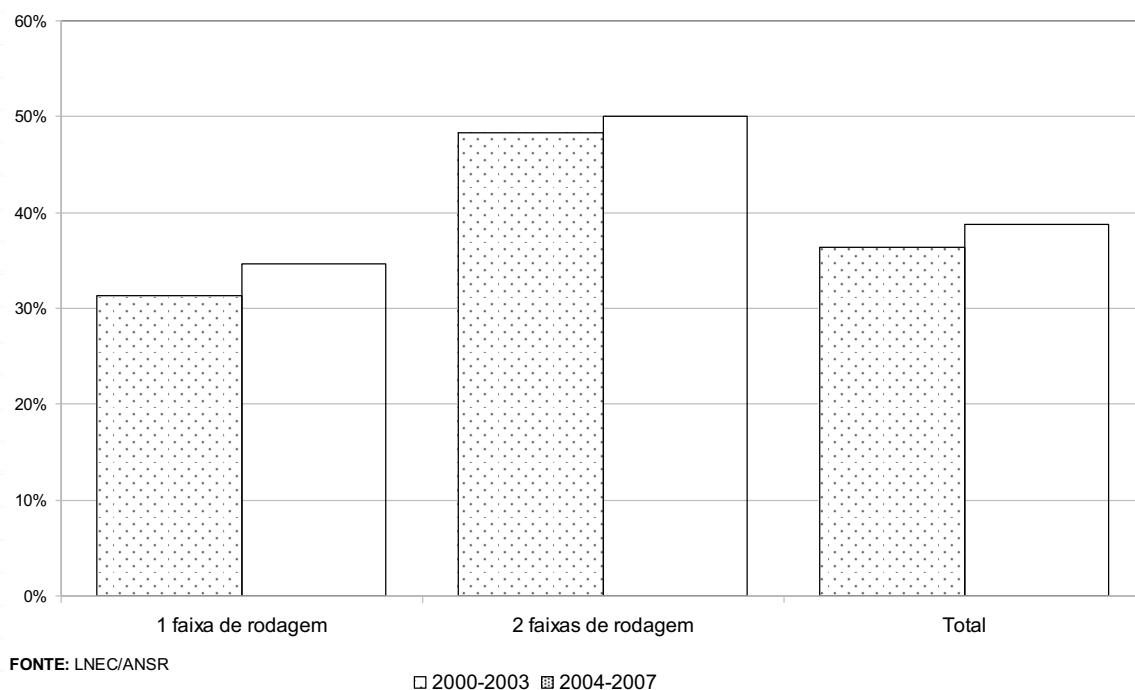


Figura 9 – Evolução percentual dos despistes em relação ao total de acidentes na RRN.

No que diz respeito à evolução percentual dos mortos e feridos graves em despistes, em relação ao total de acidentes, a situação mantém-se. Verificou-se um aumento (mais acentuado no caso das estradas de faixa de rodagem única) da percentagem de mortos e feridos graves em despistes na RRN (Figura 10): 663 mortos e 1 877 feridos graves resultantes de despistes, no período compreendido entre 2004 e 2007.

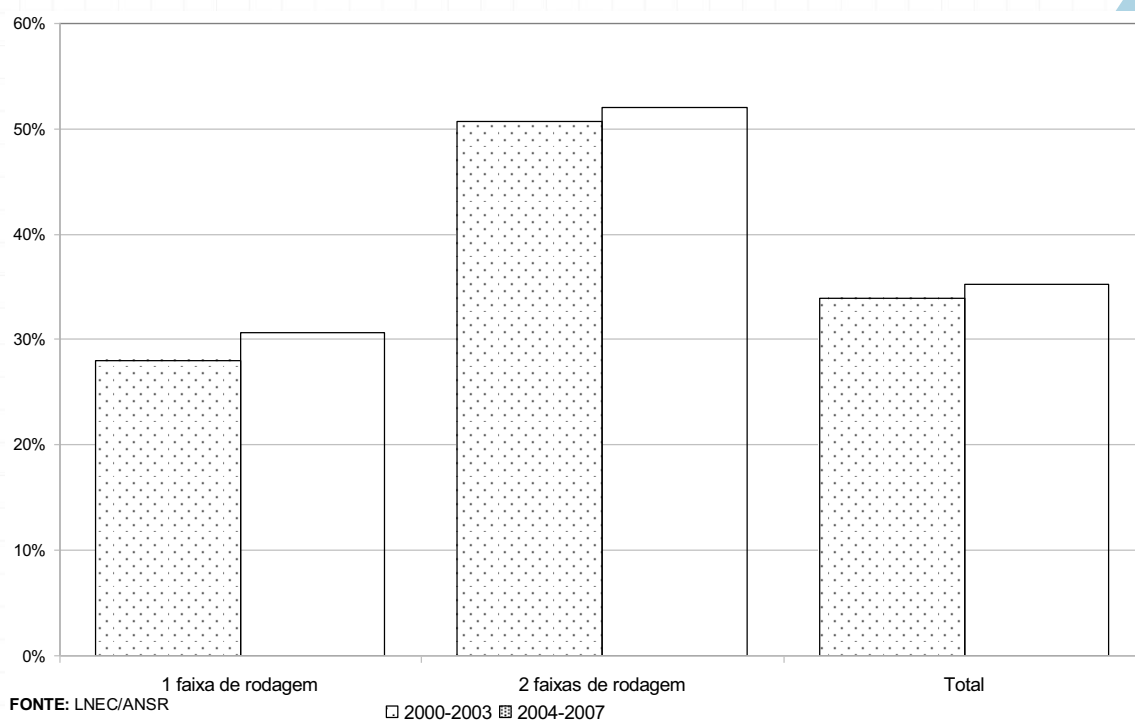


Figura 10 – Evolução percentual dos mortos e feridos graves em despistes em relação ao total de acidentes na RRN.

Da Figura 11 à Figura 13 apresentam-se as frequências de ocorrência de, respectivamente, acidentes corporais, mortos e vítimas (mortos, feridos graves e feridos ligeiros) em cada um dos níveis de desagregação considerados, conforme os critérios atrás explicitados.

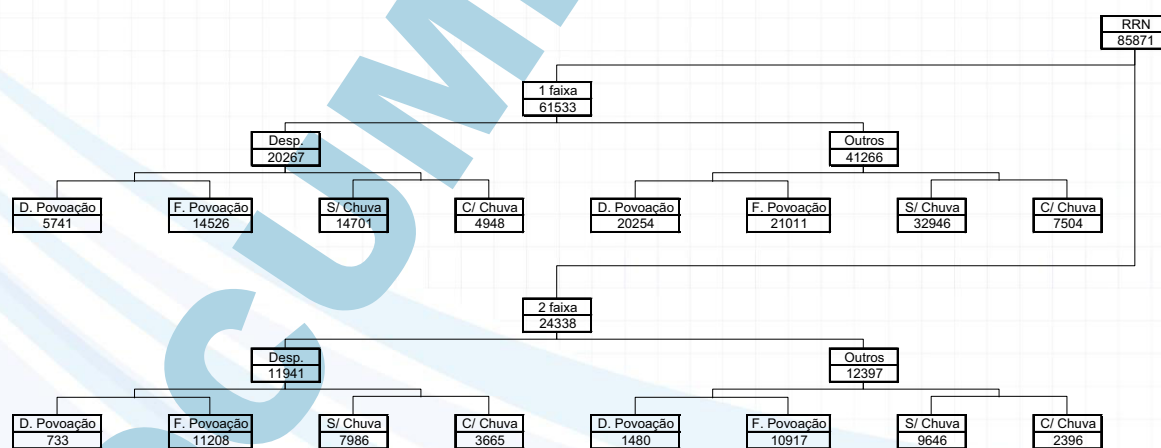


Figura 11 – Desagregação do número de acidentes corporais.

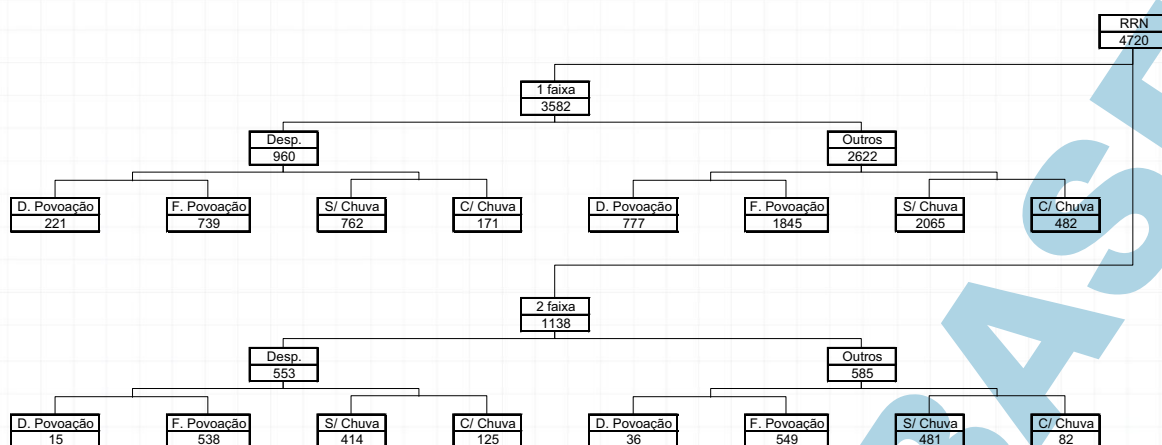


Figura 12 – Desagregação do número de vítimas mortais.

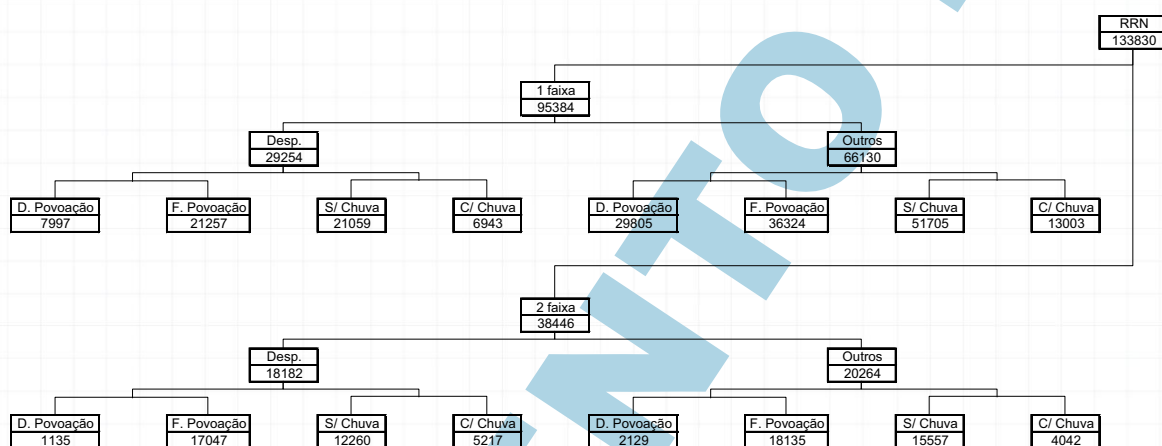


Figura 13 – Desagregação do número de vítimas.

Percentualmente, é de registar um maior número de despistes fora das povoações e em condições climatéricas adversas (72% de despistes fora das povoações em estradas de faixa de rodagem única contra 51% para os outros acidentes; 31% de despistes com chuva em estradas de dupla faixa de rodagem contra 19% para os outros acidentes). Esta tendência mantém-se, embora atenuada, para as vítimas mortais: 77% de vítimas mortais em despistes fora das povoações em estradas de faixa de rodagem única contra 70% para os outros acidentes; e 23% de vítimas mortais em despistes com chuva em estradas de dupla faixa de rodagem contra 14% para os outros acidentes.

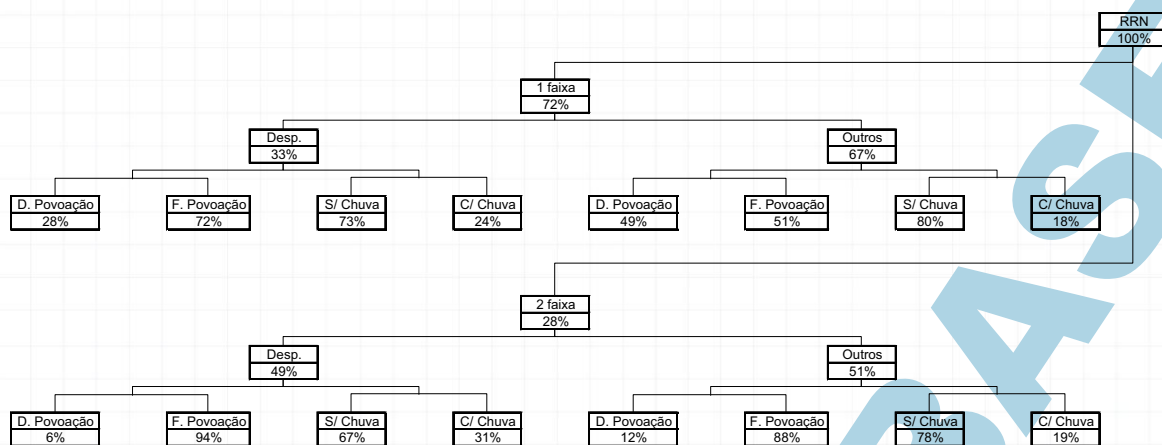


Figura 14 – Desagregação percentual do número de acidentes corporais.

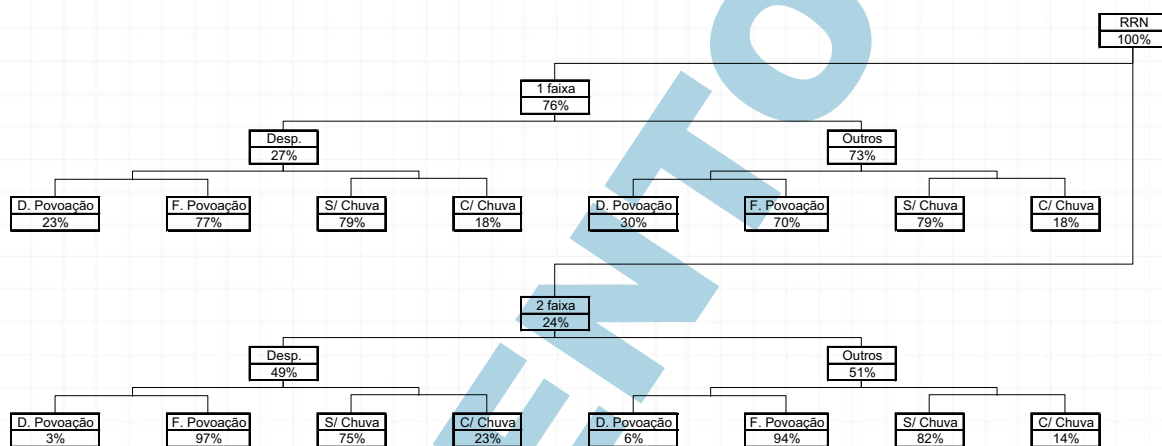


Figura 15 – Desagregação percentual do número de vítimas mortais.

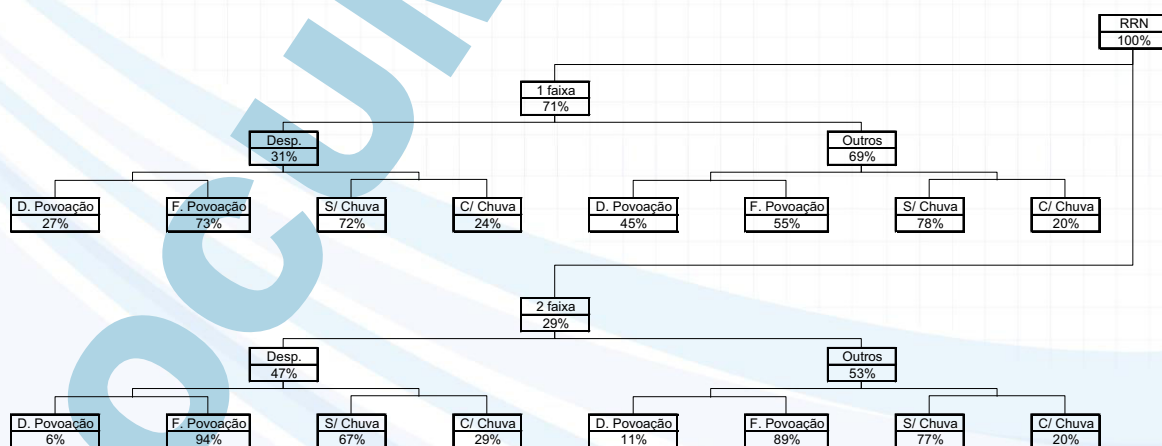


Figura 16 – Desagregação percentual do número de vítimas.

No Quadro 6 são apresentados, para o período 2004-2007, os valores médios e máximos da taxa de sinistralidade grave para todos os trechos da RRN em que existem dados relativos aos volumes de tráfego no referido período (1 142 e 753 trechos analisados, em estradas de faixa de rodagem única e dupla, respectivamente). Os dados foram tratados comparando os despistes com os restantes acidentes designados por “Outros”.

Quadro 6 – Número de mortos e feridos graves por 10⁶ veículos×km (2004-2007) – valores médios e máximos

		Despistes	Outros
Faixa de rodagem única	Média	0.028	0.043
	Máximo	0.640	0.728
Dupla faixa de rodagem	Média	0.014	0.011
	Máximo	0.807	0.607

Em estradas de faixa de rodagem única, registaram-se valores médios da taxa de sinistralidade grave significativamente superiores para os “Outros” acidentes, perfeitamente justificados por estes corresponderem a cerca de 2/3 do total de acidentes. Verifica-se, contudo, que relativamente aos máximos por trecho os valores são bastante próximos.

No que diz respeito às estradas de dupla faixa de rodagem, onde os despistes correspondem a metade do total de acidentes, verifica-se que os valores da sua taxa de sinistralidade grave são superiores (principalmente nos valores máximos), podendo os mesmos ser explicados pela elevada gravidade normalmente associada aos despistes.

4 CRITÉRIOS PARA O DIMENSIONAMENTO DA AAFR

A partir dos objectivos delineados no Capítulo 2, é importante identificar os factores que afectam os movimentos de um veículo descontrolado na zona livre, e eventualmente relevantes como critérios para o dimensionamento da AAFR.

Para esse efeito é fundamental, por um lado, quantificar algumas variáveis associadas a esses factores e, por outro, analisar os resultados obtidos pela observação de incursões, ou de acidentes, na AAFR.

4.1 Princípios teóricos de dimensionamento

A velocidade e o ângulo com que um veículo sai da faixa de rodagem dependem de diversos factores. Em termos físicos, o ângulo de saída é uma importante variável de análise. Este ângulo depende de diversos factores: do atrito entre os pneus e a estrada, da velocidade a que o mesmo se desloca, da distância transversal do veículo relativamente à zona de saída da faixa de rodagem, e das características geométricas da infra-estrutura.

Na prática, verifica-se que um veículo pode sair da faixa de rodagem com uma grande variedade de ângulos de saída, dependendo dos acontecimentos ocorridos imediatamente antes dessa mesma saída. Por exemplo, um veículo envolvido numa colisão pode desviar-se antes de sair da faixa de rodagem ou pode corrigir excessivamente a sua trajectória e acabar por sair da faixa de rodagem pelo lado oposto ao envolvido na colisão. Se nenhum destes acontecimentos ocorrer, a trajectória mais provável do centro de massa de um veículo descontrolado pode ser calculada como uma função da velocidade de saída, da distância do veículo ao limite da faixa de rodagem e do coeficiente de atrito.

Assim, numa saída de estrada num alinhamento recto – e sendo o comportamento de qualquer veículo determinado pelo seu sistema de direcção – a trajectória do centro de massa pode ser calculada como uma função da distância entre a sua trajectória inicial e o limite da

faixa de rodagem no lado da saída (ver Figura 17). O ângulo de saída depende da velocidade de circulação e da aceleração lateral máxima para esse veículo, a qual pode estar relacionada com o coeficiente de atrito entre a estrada e os pneus do veículo.

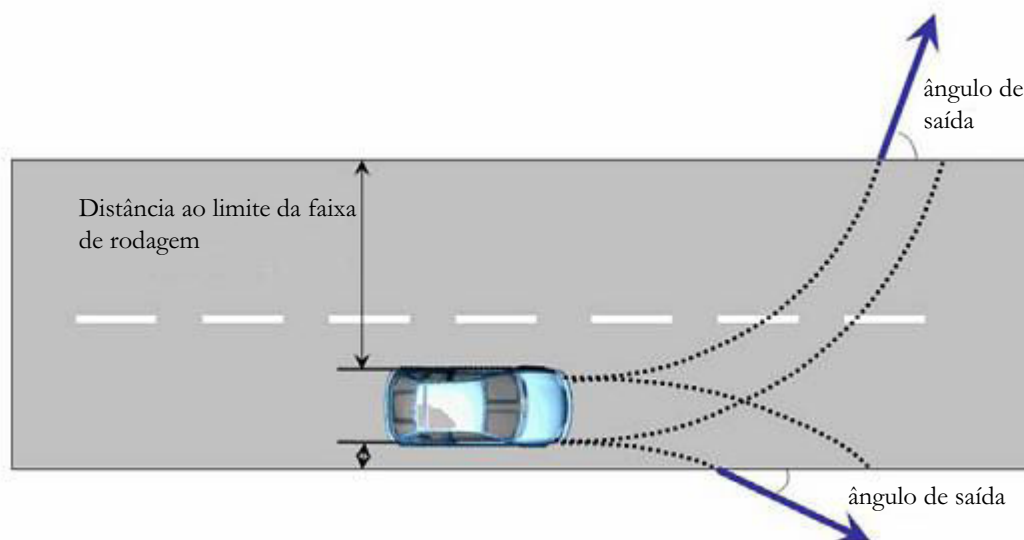


Figura 17 – Ângulo de saída em alinhamento recto (adaptado de [80]).

O ângulo de saída máximo teórico pode ser expresso a partir desta análise simplificada da capacidade de movimento do veículo. Se o coeficiente de atrito lateral máximo entre os pneus e o pavimento é dado como f e a distância ao limite da faixa de rodagem é d , do princípio da aceleração centrípeta resultará a seguinte relação entre o ângulo de saída (α) e a velocidade v (expressa em m/s):

$$\alpha = \cos^{-1} \left[1 - \left(\frac{fgd}{v^2} \right) \right] \quad (4-1)$$

Sendo g a aceleração da gravidade = 9.81 m/s^2

Os resultados da equação anterior podem ser calculados para diferentes distâncias laterais e velocidades de circulação, como ilustrado na Figura 18.

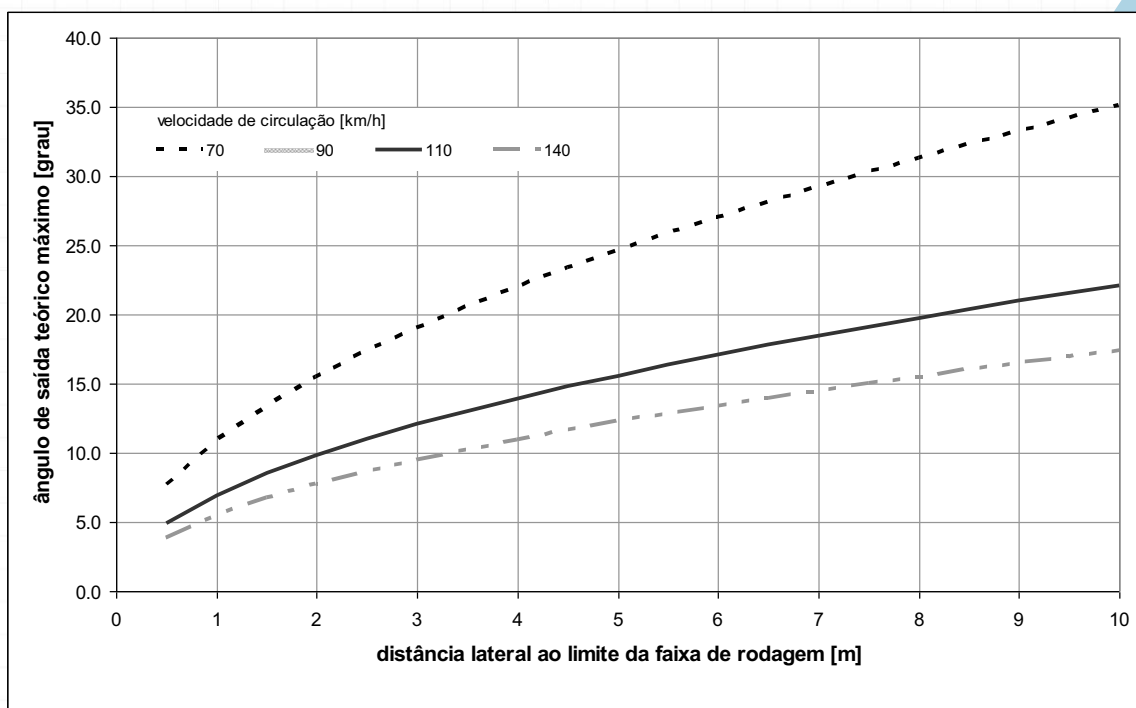


Figura 18 – Relação entre a trajectória do veículo fora da faixa de rodagem e a sua velocidade (adaptado de [80]).

Da Figura 18 é possível constatar que num alinhamento recto de uma estrada rural com duas vias – considerando uma velocidade de circulação superior a 70 km/h e um coeficiente de atrito de 0.7 – o ângulo de saída para a direita de um veículo não será superior a 20 graus.

De forma idêntica, a trajectória de um veículo que saia da estrada numa curva pode ser calculada em função da distância entre a sua trajectória inicial em linha recta e o limite da faixa de rodagem, e do raio da curva (Figura 19). Neste caso, o ângulo de saída não depende da velocidade a que o veículo circula, uma vez que se considera que o veículo sai da estrada com uma trajectória rectilínea. É de notar que o valor assim calculado pode estar sobrestimado, devido ao facto de o raio de curvatura não ser constante e ir diminuindo à medida que o veículo percorre a curva.

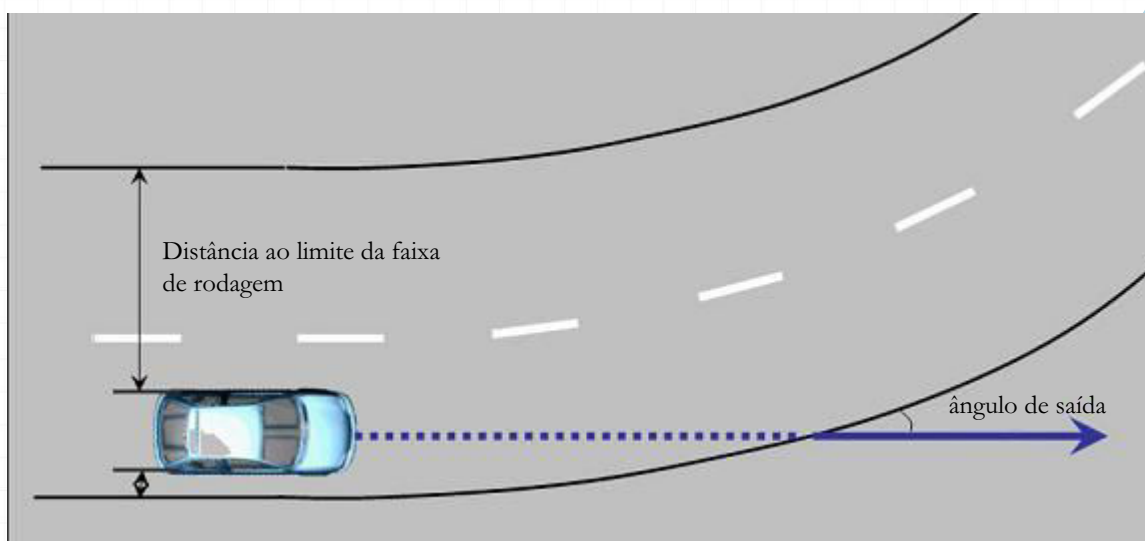


Figura 19 – Ângulo de saída em curva (adaptado de [80]).

Os valores teóricos para os ângulos de saída em curva (ver Figura 17) são ilustrados na Figura 20.

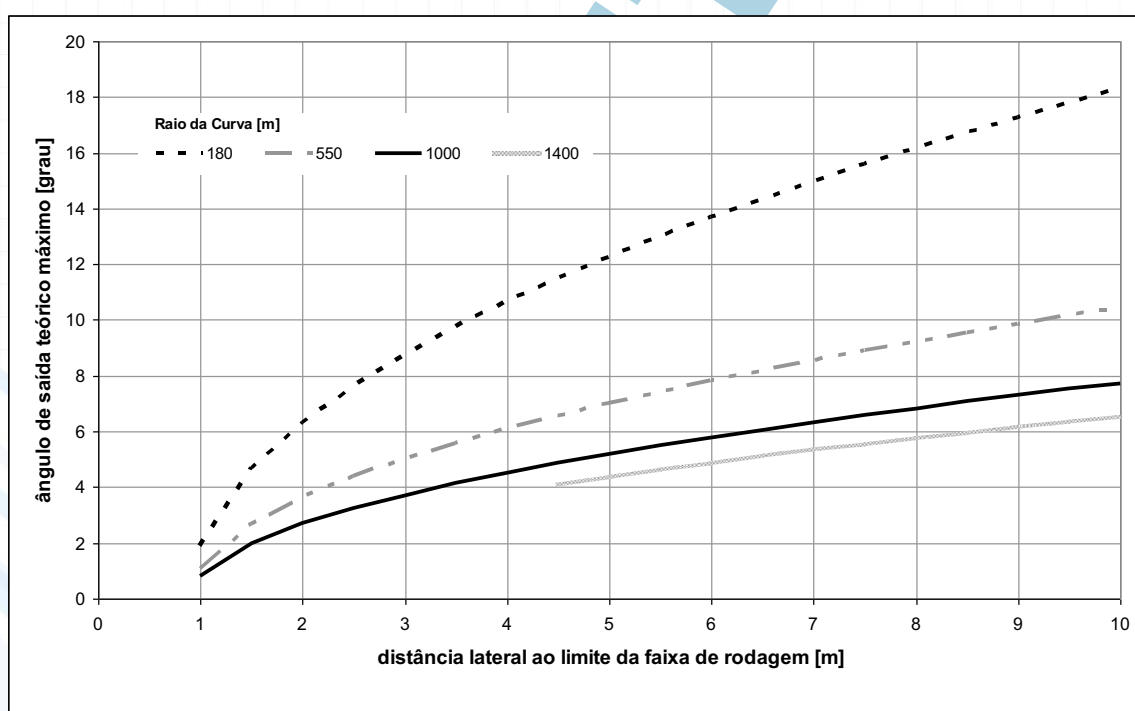


Figura 20 – Relação teórica entre a distância lateral ao limite da faixa de rodagem e o ângulo de saída, em função do raio da curva (adaptado de [80]).

Também neste caso não é expectável que o ângulo de saída ultrapasse os 20 graus (para o raio mínimo normal em planta, de acordo com a norma de traçado actual [54]). Da análise das figuras anteriores verifica-se a relação inversa entre a velocidade e ângulo de saída. O aumento da velocidade conduz à diminuição da magnitude do ângulo de saída. A relação entre a velocidade de saída e o ângulo de saída – previamente calculados pela Equação (4-1) – está ilustrada na Figura 21.

Esta relação poderá ser considerada conservadora uma vez que a manobra de virar a direcção cria forças de atrito adicionais nos pneus, retardando o veículo. Desta forma, as velocidades de saída serão inferiores às apresentadas na Figura 21.

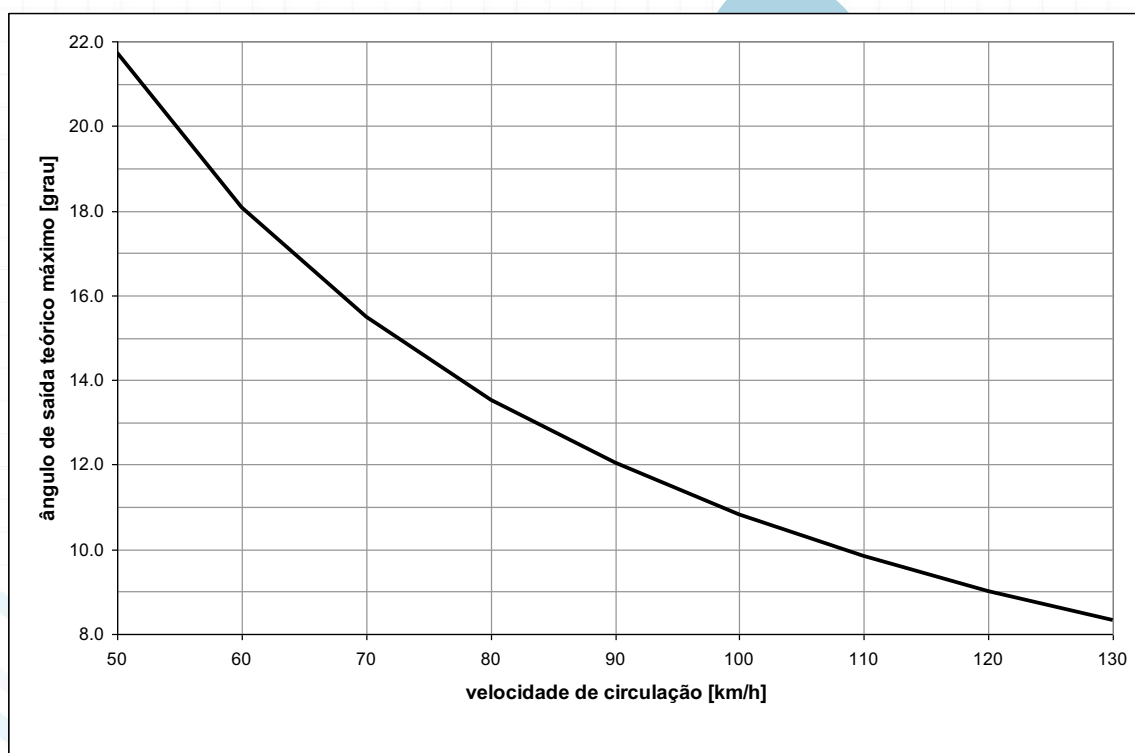


Figura 21 – Relação teórica entre a velocidade e o ângulo de saída (adaptado de [80]).

Um pressuposto de base importante da análise desenvolvida é o de que o veículo vira devido a um movimento executado pelo condutor no volante, curvando de forma estável e sem derrapar. Na realidade muitos despistes são motivados por manobras de viragem bruscas que resultam na guinada do veículo em torno do eixo vertical, levando a que este saia da estrada

em derrapagem. Este comportamento é ilustrado pela Figura 22, onde o centro de massa do veículo se move com uma trajectória que faz um ângulo α com o limite da faixa de rodagem, enquanto a orientação do veículo é definida por um ângulo Ψ . No caso de o veículo não sofrer qualquer deslizamento ou rotação na saída os ângulos α e Ψ são idênticos.

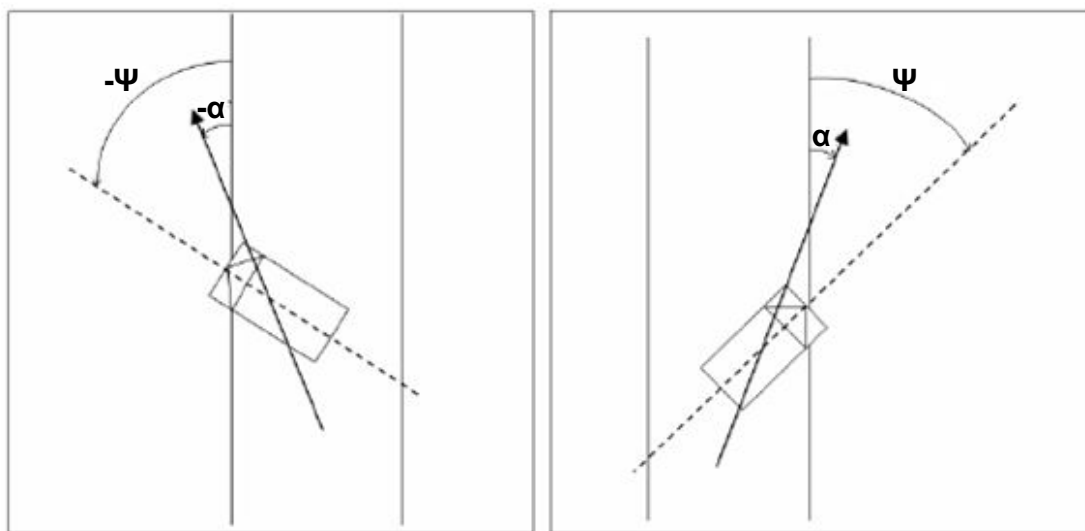


Figura 22 – Definição do ângulo de saída do veículo (adaptado de [80]).

Tendo como ponto de partida a saída da faixa de rodagem, o ângulo crítico a analisar é o ângulo de trajectória do veículo, α , o qual tem implicações na componente da quantidade de movimento para o veículo [80]. É ainda um forte indicador do comprimento de incursão do veículo na AAFR.

Se o objectivo principal da zona livre for a eliminação de embates com obstáculos perigosos a velocidades de embates superiores a um determinado valor, a extensão transversal da zona livre deverá acomodar os movimentos dos veículos até que esta velocidade seja alcançada.

A sobrevivência de um ser humano num acidente rodoviário depende da forma como é absorvida a energia cinética do veículo pelo acidente. Geralmente, o corpo humano desprotegido não sobrevive a impactos a velocidades superiores a 40 km/h [80]. Nos veículos modernos, e em caso de acidente, parte da energia é absorvida pela estrutura do

veículo e pelos seus sistemas de retenção. Porém, os veículos são otimizados para ensaios de choque padronizados, e situações de acidente com um único veículo, como é o caso dos despistes, não estão bem representadas nos requisitos de concepção dos veículos. É importante notar que 40 km/h foi igualmente o limite para os ferimentos fatais observados para muitos dos obstáculos perigosos documentados na base de dados de acidentes do projecto europeu RISER ([78] e [80]).

A conjugação da capacidade de absorção de energia do carro com a da infra-estrutura rodoviária majora a protecção relativamente à energia de impacto.

Os veículos são concebidos e ensaiados para condições de impacto frontal e lateral. A título de exemplo, nos testes do Euro NCAP para o caso de colisão frontal, cada veículo é submetido a um embate a 64 km/h contra um bloco inamovível de alumínio, simulando uma colisão frontal entre dois automóveis ligeiros a cerca de 55 km/h. Esta velocidade de embate permite cobrir uma parte significativa dos acidentes graves e fatais. Como a maioria das colisões frontais envolve apenas parcialmente a zona frontal do veículo, o obstáculo é deslocado transversalmente do centro do veículo para reproduzir um impacto a meio da largura do mesmo (ver Figura 23). Este ensaio constitui um exigente teste à resistência ao embate do veículo, sem a intrusão de componentes no habitáculo.

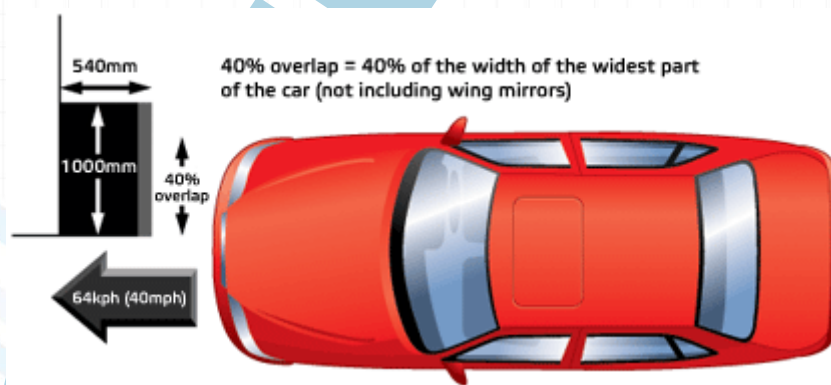


Figura 23 – Ensaio de choque Euro NCAP - Colisão frontal [47].

O contacto entre os ocupantes e as componentes do veículo que invadem o habitáculo é a principal causa de lesões graves e fatais para os ocupantes (adultos, com cinto de segurança)

de um veículo [47]. Ao prevenir-se a intrusão, é minimizada a probabilidade de embate dos ocupantes com o interior do veículo, deixando espaço para que os sistemas de segurança passiva (nomeadamente cintos de segurança e *airbags*) possam funcionar eficazmente.

Os veículos mais antigos (especialmente os anteriores a 1990) e alguns veículos para fins especiais não possuem dispositivos avançados de segurança. Assim, é importante considerar a velocidade de impacto potencial que pode ser considerada relevante para a determinação do nível de segurança desejado. Em vários continentes, os veículos são ensaiados em embates a 50 km/h contra uma barreira plana e rígida [80]. Estes testes são bastante exigentes para os veículos e constituem um ponto de referência importante para a concepção de AAFR seguras.

A distância de travagem aproximada de um veículo pode ser determinada com a seguinte equação:

$$s = \frac{v_i^2 - v_f^2}{2 \cdot a} = \frac{v_i^2 - v_f^2}{2 \cdot \mu \cdot g} \quad (4-2)$$

Sendo,

s = Distância de travagem [m]

v_i = Velocidade de projecto ou velocidade observada [m/s]

v_f = Velocidade de embate [m/s]

a = Desaceleração [m/s²]

μ = Coeficiente de atrito

g = Aceleração da gravidade [9.81 m/s²]

A desaceleração do veículo está dependente das condições do solo. A maioria dos taludes e valetas presentes na AAFR têm superfícies de gravilha ou terra vegetal, cobertas, em parte dos casos, com vegetação do tipo relva ou pasto.

De acordo com o projecto RISER [80], a maioria dos condutores trava com uma desaceleração superior a 4.5 m/s² durante a travagem. Cerca de 90% dos condutores

imprime desacelerações superiores a 3.4 m/s^2 . Tais desacelerações podem ser suportadas pela maioria dos condutores. Muitas vezes, os níveis de atrito dos diferentes trechos da AAFR não são coincidentes. À excepção do gelo, a situação de menor atrito na AAFR é a uma superfície relvada e molhada, cujo coeficiente de atrito é de, aproximadamente, 0.3, do qual resulta uma taxa de desaceleração disponível de 2.9 m/s^2 .

Face à relevância dos factores humanos no comportamento de condução, em situações de paragem forçada devida a obstáculo inesperado, Cardoso [15] preconiza para o cálculo da distância de visibilidade de paragem (DVP) a adopção dos dois níveis de desaceleração padrão constantes do Quadro 7 e que são semelhantes aos acima descritos.

Quadro 7 – Níveis de desaceleração padrão a considerar no cálculo da DVP [15].

	Rodovia interurbana	Arruamento urbano Atravessamento de povoação	
Vlimite [km/h]	-	≤ 50	≥ 60
a [ms^{-2}]	3.41	4.4	3.41

A geometria da AAFR, e especialmente a inclinação dos taludes, desempenha um papel fundamental na frequência e gravidade dos acidentes pela sua influência determinante para a ocorrência de capotamento, um dos acontecimentos potencialmente mais perigosos em acidentes com um único veículo.

Para taludes de aterro, correspondentes à situação mais desfavorável, a distância de travagem aproximada de um veículo a circular a uma determinada velocidade é calculável com a seguinte equação [80]:

$$s = \frac{v_i^2 - v_f^2}{2 \cdot a} = \frac{v_i^2 - v_f^2}{2 \cdot g \cdot [\mu \cdot \cos(\varphi) - \sin(\varphi)]} \quad (4-3)$$

Sendo,

s = Distância de travagem [m]

v_i = Velocidade de projecto ou velocidade observada [m/s]

v_f = Velocidade final (imobilização ou embate em obstáculo) [m/s]

a = Desaceleração [m/s^2]

μ = Coeficiente de atrito

g = Aceleração da gravidade [9.81 m/s^2]

φ = ângulo de inclinação do talude[°]

A fórmula anterior inclui o ângulo máximo de inclinação para um determinado coeficiente de atrito, uma vez que o limite para uma desaceleração segura é alcançado quando a inclinação do talude for igual ao coeficiente de atrito [80].

$$\text{tg}(\varphi) = \mu \quad (4-4)$$

Isto significa que para inclinações superiores a 1V:3H e para um coeficiente de atrito de 0.3, não há habitualmente possibilidade de uma paragem segura. A inclinação absoluta do talude não é relevante para as situações de saída da faixa de rodagem, mas antes a inclinação resultante quando o veículo se dirige sob um determinado ângulo de percurso (ver Figura 24). Enquanto percorre o talude, o veículo muda a sua posição angular devido à acção do condutor.



Figura 24 – Percurso de um veículo num talude de aterro [80].

A inclinação resultante do movimento pode ser determinada pela inclinação do talude e pela direcção do movimento do veículo através da seguinte correlação [80]:

$$\sin (\eta) = \sin (\varphi) \cdot \sin (\alpha) \quad (4-5)$$

Sendo,

η = ângulo de inclinação resultante do movimento[°]

φ = ângulo de inclinação do talude[°]

α = Direcção do movimento do veículo [°]

4.2 Observação de Incursões na AAFR

Conhecem-se três estudos realizados com o objectivo de modelar as incursões na AAFR, tendo por base dados obtidos directamente pela observação de incursões na mesma: Hutchinson e Kennedy [48], Cooper (citado em [57], [62], [65], [120], [96], [95], [23] e [29]) e Calcote *et al.* (citado em [57], [62], [96] e [95]). Todos estes estudos foram desenvolvidos na América do Norte.

O estudo de Hutchinson e Kennedy envolveu a observação dos trilhos deixados pelas rodas de veículos nos separadores centrais (cobertos, em cerca de 20% dos casos, de neve) de 3 auto-estradas interestaduais (inauguradas à data de realização do estudo), cujo limite de velocidade era de 70 milhas/hora (cerca de 112 km/h). Este estudo envolveu um conjunto de 485 observações, entre Julho de 1960 e Abril de 1964, no Estado do Illinois.

Cooper realizou um estudo semelhante no Canadá no final da década de 1970. Este estudo contou com observações semanais dos trilhos de rodas em áreas adjacentes à faixa de rodagem cobertas por relva. Estas áreas diziam respeito a estradas rurais de diferentes classes funcionais. Foram observados cerca de 1 900 trilhos ao longo da AAFR de 4 560 km de estrada. Os períodos de recolha de dados ocorreram fundamentalmente durante os meses de verão (Julho a Outubro de 1978) em estradas com limites de velocidade entre 80 e 100 km/h.

A partir dos anos 70 são escassos os estudos de sinistralidade envolvendo a AAFR desenvolvidos nos Estados Unidos, sendo, no entanto, de referir que está em curso a revisão do “*Roadside Design Guide*” que resulta, entre outras, da necessidade sentida no referido país de revisão destes conceitos. Estes estudos são extremamente importantes, tendo vindo a servir de base aos trabalhos realizados em diversos países europeus. Contudo, é necessário realçar que os estudos americanos se baseiam na realidade desse país nos anos 60 e 70, tendo, por isso, diferenças significativas relativamente à situação europeia actual, nomeadamente no que diz respeito à massa e às características de resistência ao choque dos veículos, bem como às velocidades praticadas. Não obstante, os resultados dessa investigação mantêm-se, em muitos aspectos, ainda hoje válidos nos EUA [86, 102].

A pesquisa desenvolvida na década de 1980 por Calcote *et al.* utilizou monitorização electrónica nas estradas rurais e sistemas vídeo ao longo das estradas em meio urbano. Contudo, a monitorização com recurso a equipamento electrónico não foi bem sucedida devido a problemas técnicos, nem a utilização de sistemas vídeo deu resultados satisfatórios.

4.2.1 Frequência

Conforme ilustrado na Figura 25, tanto Hutchinson e Kennedy como Cooper demonstraram que a taxa de incursão por quilómetro aumenta muito rapidamente a partir de volumes de tráfego reduzidos e, de seguida, estabiliza ou diminui (para um tráfego médio diário entre 3 000 e 8 000 veículos). Este desenvolvimento da curva tem sido explicado pela análise do comportamento dos condutores. Para pequenos volumes de tráfego os condutores têm a sua velocidade pouco condicionada por outros veículos e tendem a conduzir mais depressa. Esta combinação de factores poderá levar a uma maior incidência de erros do condutor, resultando em maiores taxas de incursão por quilómetro. Com o aumento dos volumes de tráfego começa a haver uma maior interacção com outros veículos, o que conduz a uma melhor identificação da faixa de rodagem e a uma diminuição da monotonia da condução [95]. Estes factores podem explicar a estabilização ou a redução na taxa de incursão por quilómetro observada para volumes de tráfego moderados. À medida que os volumes de

tráfego aumentam, o incremento da exposição associada a veículos adicionais poderá superar este efeito e levar ao aumento desta taxa.

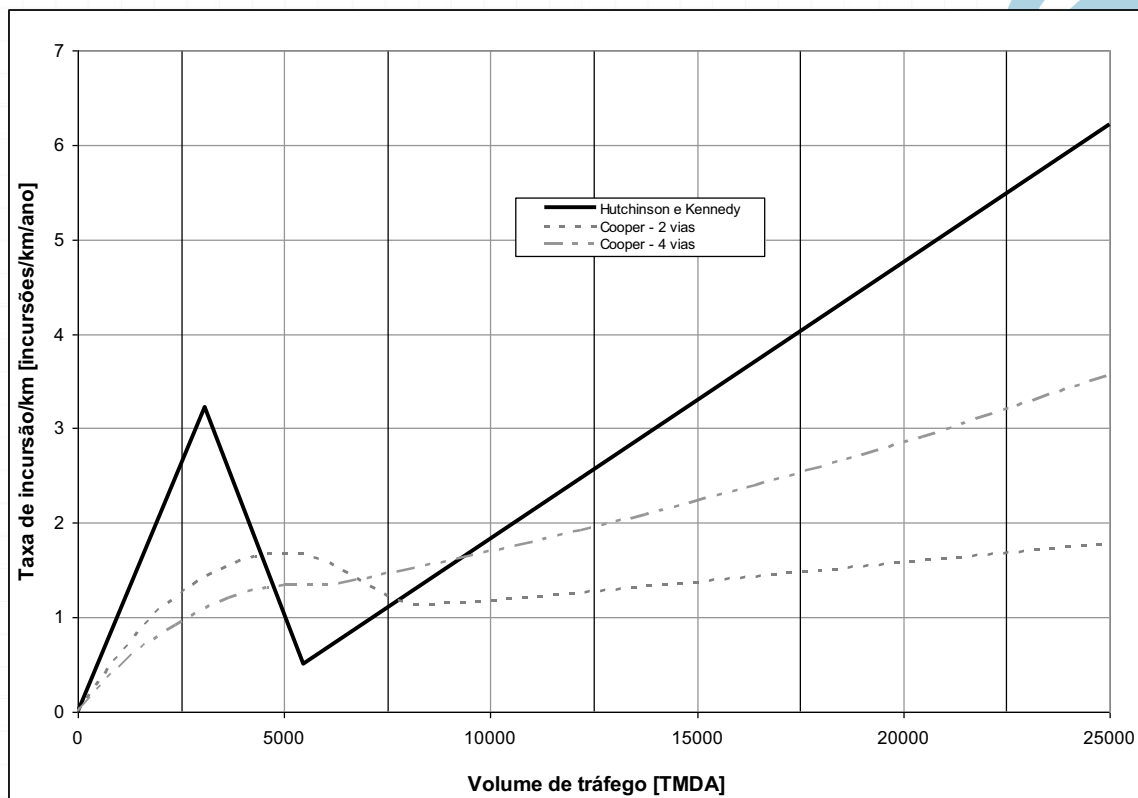


Figura 25 – Frequência de incursões (adaptado de [62])

Estes estudos apresentam, contudo, algumas limitações. No estudo de Hutchinson e Kennedy não é possível determinar com segurança se um veículo está, ou não, sob controlo do seu condutor, apenas pela observação das marcas deixadas pelas rodas. Apesar da neve no separador central ser um impedimento significativo para veículos que pretendam deixar a faixa de rodagem de forma intencional (ou seja, uma saída controlada), verificou-se que algumas das marcas observadas envolviam veículos que, alegadamente, pretendiam inverter o sentido de marcha em separadores centrais pavimentados e cobertos de neve.

Outra limitação importante do referido estudo corresponde ao facto de os dados terem sido recolhidos apenas em auto-estradas interestaduais, sendo possível argumentar que os dados não podem nem devem ser extrapolados para outras classes funcionais da rede rodoviária.

Finalmente, os dados foram recolhidos em trechos relativamente planos e em alinhamentos rectos, havendo pouca informação disponível sobre o traçado destas estradas (em planta e perfil longitudinal) para determinar os efeitos que estes parâmetros tiveram sobre as taxas de incursão.

No estudo realizado por Cooper verifica-se uma sub-representação das condições climáticas adversas, tendo as velocidades registadas sido consideravelmente inferiores às observadas nas estradas interestaduais do estudo de Hutchinson e Kennedy. Este estudo é igualmente incapaz de distinguir entre incursões controladas e não controladas (tal como acontece no estudo de Hutchinson e Kennedy). Por outro lado, o Verão é igualmente um período em que se intensifica a manutenção das estradas e onde se verifica um aumento da actividade agrícola com equipamentos lentos e veículos que ocasionalmente utilizam as zonas relvadas da AAFR. É contudo possível que a inclusão de incursões controladas tenha compensado qualquer redução nas taxas de incursão causada pelas melhores condições atmosféricas e pelas menores velocidades praticadas.

Quando comparadas, as taxas de incursão observadas por Cooper são um pouco inferiores às observadas por Hutchinson e Kennedy (ver Figura 25), facto que não surpreende dadas as melhores condições atmosféricas e as baixas velocidades de tráfego. Além disso, a detecção de incursões na berma ou na sua proximidade imediata é bastante difícil devido à existência de bermas pavimentadas. É pois provável que as incursões de pequena extensão transversal (entre 0 e 4 metros), estejam sub-avaliadas no estudo de Cooper.

Calcote *et al.* tentaram superar os principais problemas dos estudos efectuados quer por Cooper quer por Hutchinson e Kennedy, nomeadamente a não detecção de algumas incursões motivada pelas bermas pavimentadas e a incapacidade de distinguir incursões controladas e não controladas pela observação dos trilhos das rodas.

O recurso a equipamentos de vídeo (com o designado *time lapse video*, técnica bastante usada para filmar eventos com uma taxa de lentidão elevada) registou inúmeras incursões, mas não se revelou um método eficaz para distinguir entre incursões controladas e não controladas. A esmagadora maioria das incursões gravadas envolveu veículos deslocando-se lentamente ao

longo da AAFR durante algum tempo, com posterior retorno à corrente de tráfego, sem mudanças bruscas de trajectória. Um condutor fatigado ou distraído ou um condutor a executar uma manobra controlada na AAFR, podem causar este tipo de incursão. Ao restringir a definição de incursões descontroladas a mudanças bruscas na trajectória do veículo ou a travagens bruscas, apenas 14 das, aproximadamente, 7 000 incursões registadas foram consideradas não controladas, o que dá uma proporção de cerca de 500 incursões controladas por cada incursão descontrolada. Complementarmente, a videovigilância só pôde ser usada em secções relativamente curtas de estrada, o que limitou a quantidade de dados que poderiam ser obtidos (citado em [62]). Como resultado, as conclusões deste estudo não são nem muito úteis nem muito utilizadas.

As distribuições da frequência de incursão na AAFR anteriormente descritas dizem respeito a trechos de estrada planos e em alinhamentos rectos. Para estimar os efeitos do traçado rodoviário (planta e perfil longitudinal) nas incursões na AAFR, têm vindo a ser desenvolvidos diversos estudos baseados na análise de dados de acidentes.

O estudo mais utilizado nos EUA para o ajuste das taxas de incursão às características em planta e perfil longitudinal é um estudo de Wright e Robertson (citado em [23] e [62]). Este estudo, realizado no Estado da Geórgia, analisou 300 acidentes fatais envolvendo um único veículo e obstáculos perigosos na AAFR. O estudo compara zonas onde tenham ocorrido acidentes fatais com zonas de controlo 1.6 km (1 milha) a montante dos locais onde ocorreram esses acidentes (por exemplo, elementos relativos ao perfil transversal, geometria e condições da AAFR). O pressuposto base desta comparação é o de que as diferenças nas características da estrada entre os locais onde ocorreram os acidentes fatais e os outros locais estão correlacionadas com a ocorrência desses mesmos acidentes fatais.

Na análise dos dados referentes aos locais onde ocorreram acidentes fatais, verificou-se uma significativa sobre-representação da curvatura horizontal. 70% dos acidentes fatais em curva ocorreram no seu extradorso. Complementarmente verificou-se que declives de 2% ou mais tiveram igualmente efeito significativo nas taxas de incursão, contrariamente aos aclives cujo efeito observado não foi significativo. Os resultados deste estudo, resumidos na Figura 26,

foram aplicados em vários modelos de probabilidade de incursão na AAFR, nomeadamente no utilizado no Roadside Safety Analysis Program ³(RSAP) da AASHTO [62].

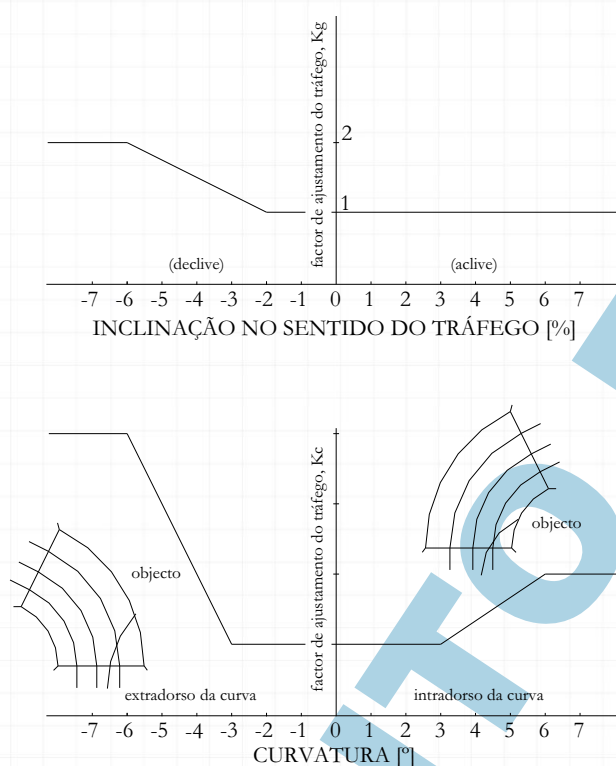


Figura 26 – Factores de ajustamento da frequência de incursões para curvas horizontais e trainéis (adaptado de Wright, P.H., Robertson, L. (1976). Priorities for Roadside Hazard Modification: A Study of 300 Fatal Roadside Object Crashes. Traffic Engineering, Vol. 46, No. 8. Citado em [95])

Embora a metodologia utilizada neste estudo seja, na generalidade, considerada válida e apropriada, são de referir alguns pontos fracos da mesma (citados em [62]):

- A dimensão da amostra é relativamente pequena, com apenas 300 acidentes fatais investigados;
- Não houve controlo de algumas variáveis que podem ser consideradas explicativas (por exemplo, tipo de estrada e de pavimento, e volume de tráfego). Por exemplo, alguns dos acidentes ocorreram em estradas rurais não pavimentadas;

³ O Roadside Safety Analysis Program é fornecido com o Roadside Design Guide [4] da AASHTO e corresponde a um software desenvolvido com o objectivo de avaliar, através da análise custo-eficácia, alternativas de intervenção para a melhoria das condições de segurança na AAFR.

- Apenas acidentes com vítimas fatais foram incluídos na amostra e os resultados podem não ser aplicáveis a acidentes de menor gravidade.

Tendo em conta estas debilidades, é possível que os factores de ajustamento sobrestimem os efeitos da curvatura horizontal e vertical nas taxas de incursão. No entanto, não é conhecido até à presente data, melhor fonte de informação sobre os efeitos da curvatura horizontal e vertical nas taxas de incursão.

Ainda nos EUA, Mak (citado em [95]) realizou uma análise das condições reais de embate de veículos descontrolados na AAFR, tendo como base a reconstituição de acidentes. Nesse estudo, foram definidas distribuições de velocidade e ângulo de embate para cinco classes funcionais de diferentes de estradas, incluindo auto-estradas; estradas rurais arteriais; estradas rurais colectoras e locais; estradas urbanas arteriais; e estradas urbanas colectoras e locais. Estas distribuições foram desenvolvidas ajustando funções gama aos dados de acidentes disponíveis. As mesmas distribuições foram utilizadas no RSAP [62] para descrever as velocidades e ângulos de incursão e as orientações do veículo descontrolado.

4.2.2 Velocidade de saída da estrada

No Reino Unido, no âmbito de um estudo publicado pelo Transport Research Laboratory (TRL), em 2005, relativo à influência das características da AAFR na sinistralidade [57], foram recolhidos dados sobre a distribuição de velocidades dos veículos envolvidos em acidentes fatais⁴, sob a designação de *velocidade de cruzeiro* estimada. Esta velocidade baseia-se no levantamento pormenorizado de dados de acidentes – muitas vezes as marcas de pneus – nos locais onde ocorreram despistes. Na maioria dos casos, a velocidade foi registada no momento em que as rodas do veículo bloquearam durante as travagens. As estimativas realizadas a partir destes dados indicam que a velocidade média dos veículos é de cerca de 97 km/h (60 milhas/h) em estradas com um limite de velocidade de 113 km/h (70 milhas/h) e

⁴ Os dados recolhidos pelo TRL dizem respeito a cerca de 5 350 acidentes com despiste, a maioria dos quais no período compreendido entre 1987 e 1997. A base de dados utilizada não contém qualquer registo de quão longe os veículos descontrolados se deslocaram para fora da faixa de rodagem nem do tipo de terreno percorrido.

85 km/h (53 milhas/h), 84 km/h (52 milhas/h) e 84 km/h (52 milhas/h) em estradas com limite de velocidade de, respectivamente, 97 km/h (60 milhas/h), 80 km/h (50 milhas/h) e 64 km/h (40 milhas/h). As velocidades mais elevadas registadas nas estradas com menores limites de velocidade podem reflectir uma elevada proporção de veículos que saem da faixa de rodagem, quando o veículo descreve uma curva a velocidade excessiva.

Nas estradas onde o limite de velocidade é mais elevado, verificou-se uma variação muito pequena da velocidade de circulação estimada, entre aqueles que saem da estrada pela berma esquerda ou pela berma direita.

Tendo por base os dados de acidentes analisados no projecto europeu RISER [80] foi calculada a distribuição de velocidades de embate apresentada na Figura 27. Os dados representam acidentes com um único veículo, para todos os tipos de estrada e limites de velocidade. Os dados mostram que 85% dos embates ocorrem a velocidades inferiores a 110 km/h (V_{85}) e 50% dos mesmos não ultrapassam os 90 km/h.

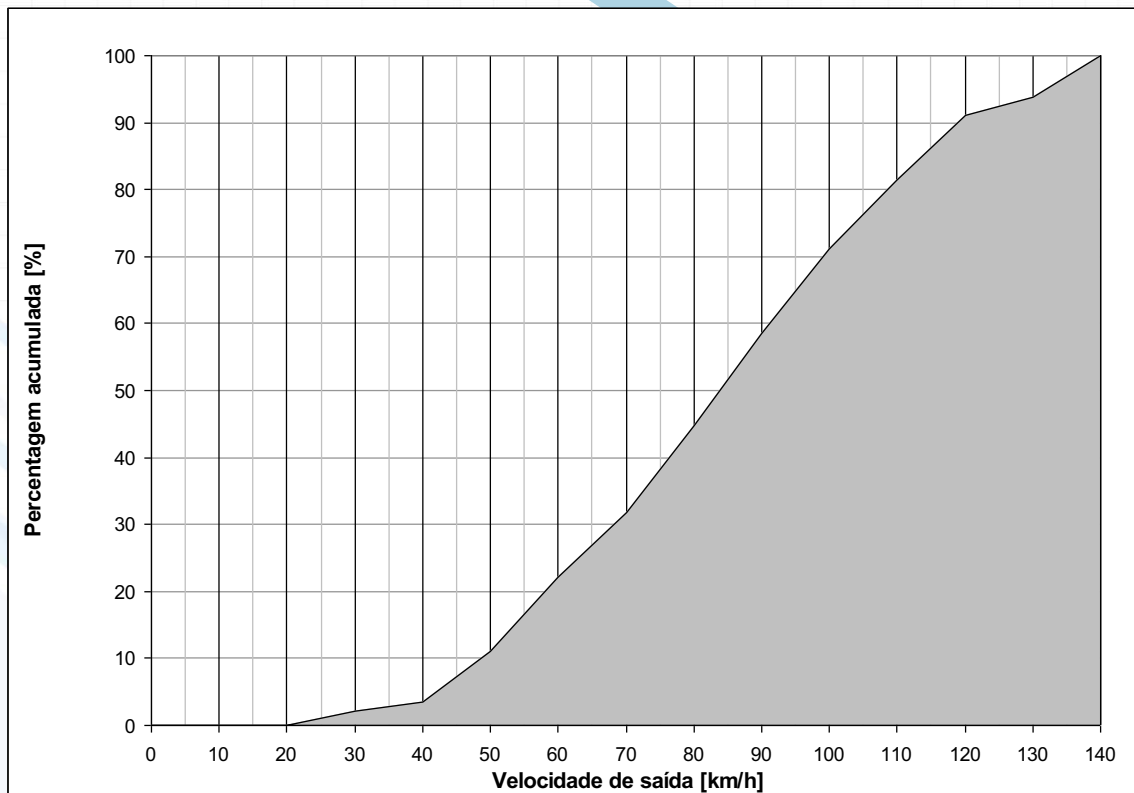


Figura 27 – Distribuição da velocidade de saída em despistes (adaptado de [80]).

4.2.3 Ângulo de saída da faixa de rodagem

No âmbito da homologação de sistemas de retenção de veículos, e em particular no caso de barreiras de segurança, os ensaios de choque são realizados, na maioria dos casos, com ângulos de embate de 20° (nos casos restantes o ângulo é inferior). Estas barreiras são concebidas com o objectivo de apenas conter ou, em alternativa, conter e redireccionar veículos desgovernados que saiam da faixa de rodagem, impedindo-os de embater em obstáculos perigosos ou de invadir a faixa contrária. Com o aumento do ângulo de embate esse objectivo vai sendo mais difícil de atingir.

O ângulo de embate é, assim, escolhido de forma a cobrir a maioria das situações em que os veículos saem da estrada e representa o ângulo máximo de embate a que a barreira vai, garantidamente, conter o veículo descontrolado.

De acordo com Lynam [57], os primeiros modelos de incursão na AAFR desenvolvidos assumiram como adequado um ângulo de saída de 20°. Este foi também o valor preconizado no sub-capítulo anterior. Contudo, este ângulo tem vindo a ser reduzido à medida que mais dados sobre acidentes rodoviários envolvendo um único veículo vão sendo recolhidos e investigados.

A distribuição dos ângulos de saída obtidos por Hutchinson e Kennedy [48] é apresentada no Quadro 8.

Quadro 8 – Distribuição dos ângulos de saída (adaptado de [48]).

Ângulo [°]	5	10	15	20	30
Percentagem acumulada	25	60	75	85	95

O ângulo de saída médio registado nas observações realizadas no referido estudo [48] foi de 11°. Valor semelhante (12°) foi encontrado por Ehrola (citado em Lynam [57]), embora seja de salientar que este valor corresponde à média de uma grande variedade de ângulos de saída.

Com base nos dados Hutchinson e Kennedy [48] e de Cooper (citado em [57], [62] e [65]), Sicking e Ross [94] definiram uma probabilidade de incursão na AAFR fazendo-a variar em função da velocidade de saída (ver Quadro 9). A banda de maior probabilidade para todas as velocidades situa-se entre os 5° e os 15°, valores coerentes com os dados do Quadro 8.

Quadro 9 – Distribuição dos ângulos de saída (adaptado de [94]).

Ângulo [°]	5	15	25	35	45	90
Percentagem acumulada	10	55	83	94	98	100

De referir que esta informação é baseada fundamentalmente em colisões com postes de electricidade e de telefone, localizados normalmente ao longo de estradas rurais com baixos volumes de tráfego e com baixos limites de velocidade [109]. Neste tipo de ambiente rodoviário a taxa de registos dos acidentes ocorridos pode ser mais elevada do que na generalidade da rede rodoviária [62].

É ainda necessário realçar que os estudos desenvolvidos por Hutchinson e Kennedy se baseiam na realidade dos EUA nos anos 50 e os de Cooper nos finais da década de 70 no Canadá, tendo, por isso, diferenças significativas relativamente à situação europeia actual, nomeadamente no que diz respeito à massa e às características de resistência ao choque dos veículos, bem como às velocidades praticadas.

Já nos anos 1980, o modelo desenvolvido no âmbito do relatório SR214 [109] do Transportation Research Board – baseado, no que ao ângulo de saída diz respeito, nos dados recolhidos por Hutchinson e Kennedy [48] e num modelo desenvolvido por Glennon [42] com base nos referidos dados – utiliza ângulos de 6.1° para saídas pela berma direita e 11.5° para saídas pela berma esquerda (ver Figura 28).

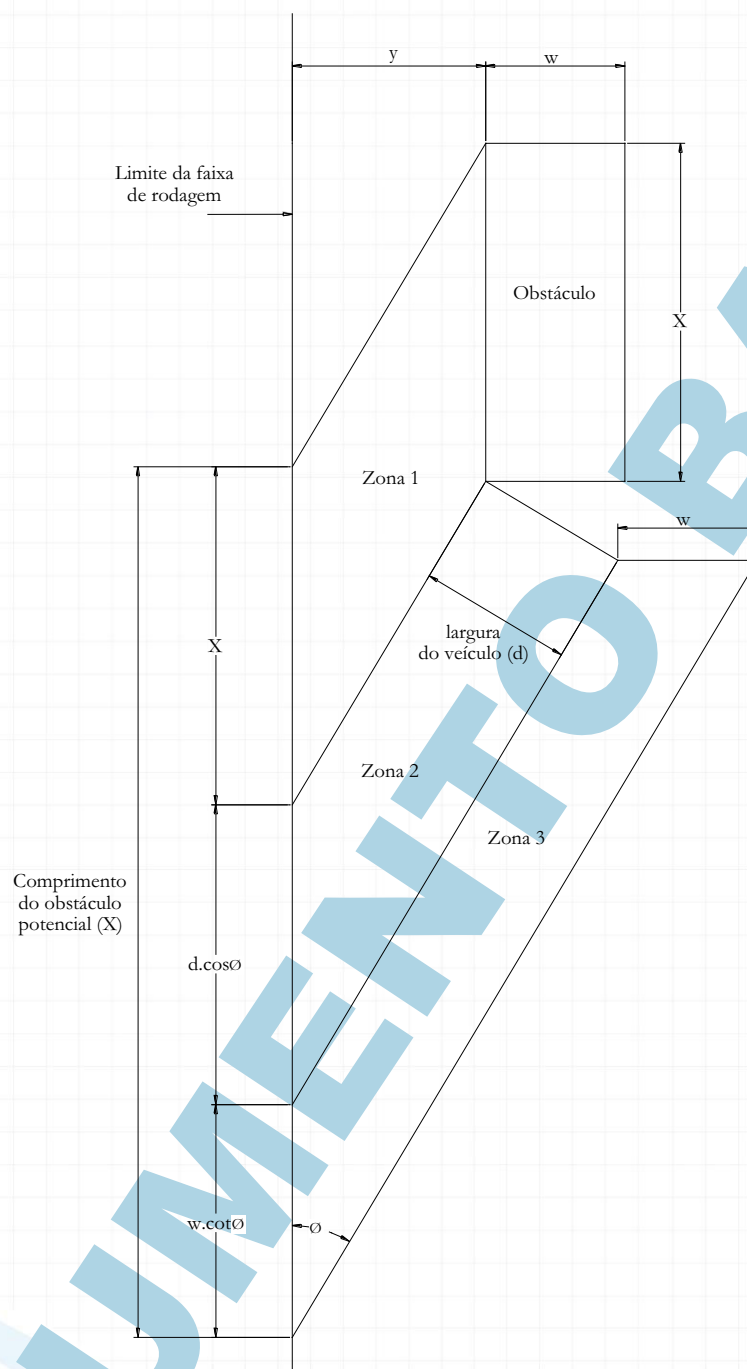


Figura 28 – Área de risco potencial baseada na trajetória da aresta mais à direita da frente do veículo descontrolado (adaptado de [109])

O modelo mais recente da AASHTO, datado de 2002 e utilizado no RSAP [62], utiliza uma distribuição de ângulos baseada em Cooper, Mak et al (1986) e estudos relacionados. Actualmente, o RSAP 7 utiliza cinco matrizes (em função da categoria da estrada) de 7 por 7

para descrever as distribuições da velocidade e ângulo de embate, daí resultando 49 combinações possíveis de velocidade e ângulo de embate. Os ângulos de embate constantes das matrizes variam entre 2.5° e 32.5°.

Na Europa, e mais concretamente, nas estradas do Reino Unido estima-se que cerca de 16% das incursões pela AAFR sejam motivadas pelo adormecimento dos condutores e, consequentemente, os veículos saiam da estrada em ângulo raso [57]. Dados referentes a uma base de dados de acidentes fatais revelam que, em cerca de metade dos casos, os veículos descontrolados terem batido num outro veículo antes de sair da estrada. Nestes casos, os veículos são susceptíveis de sair da faixa de rodagem com ângulos de saída superiores a média.

Num outro estudo realizado na Suécia [116] foram analisados 204 acidentes no que se refere ao ângulo de saída da faixa de rodagem – ver Figura 29. Da análise concluiu-se que os referidos ângulos são normalmente pequenos, diminuindo com o aumento da velocidade dos veículos. Em cerca de metade dos acidentes o ângulo foi inferior a 7° e em 90% dos mesmos foi inferior a 28°. A mediana foi igual a 7° e a média a 11,6°.

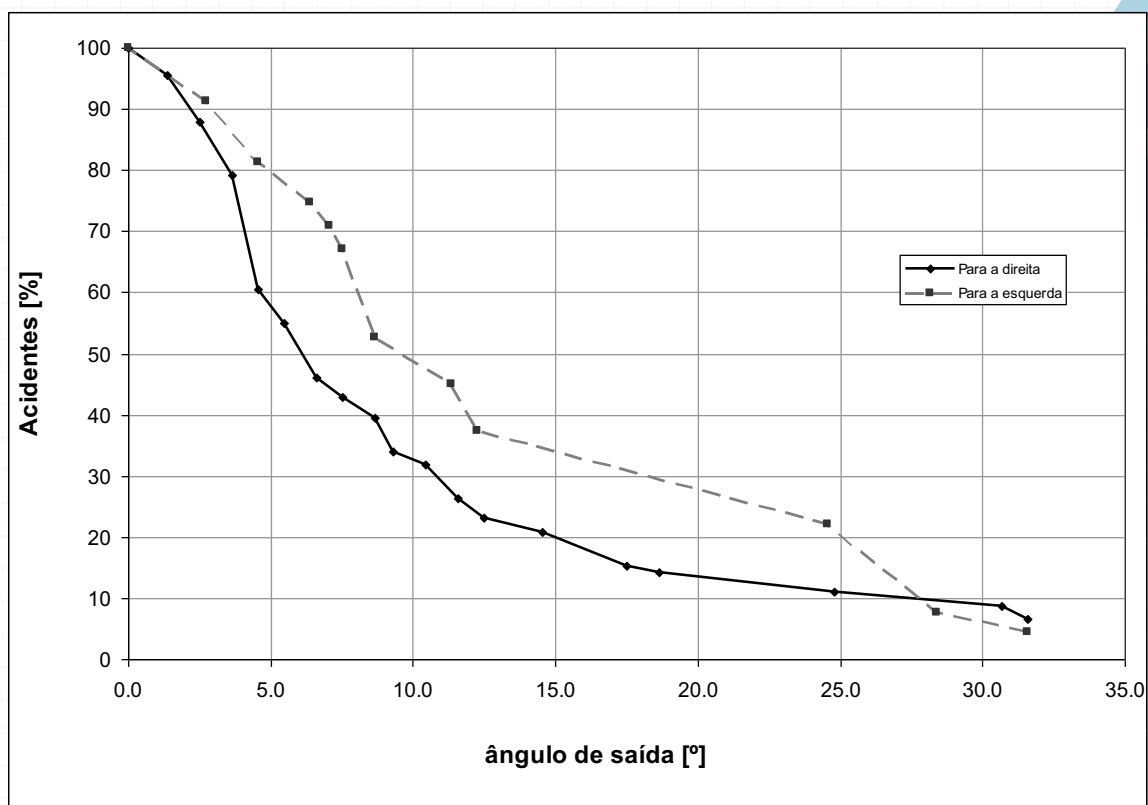


Figura 29 – Ângulos de saída da faixa de rodagem (adaptado de [116]).

É ainda de destacar que, aproximadamente 25% dos acidentes registados ocorreram para o lado esquerdo da faixa de rodagem.

Tal como expectável, e de acordo com a Figura 30, o ângulo de saída é determinante na distância percorrida. Ângulos elevados conduzem a incursões mais afastadas da faixa de rodagem.

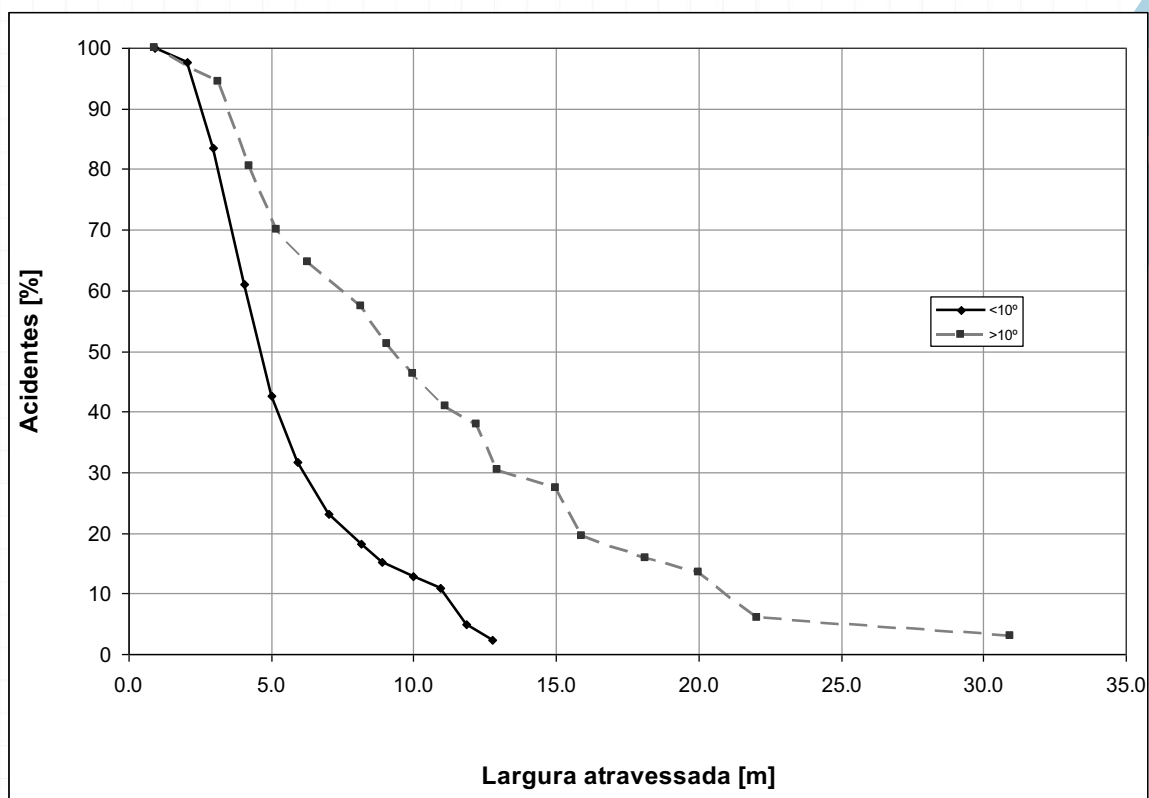


Figura 30 – Percentagem de incursões na AAFR sem colisão com obstáculos para larguras inferiores às indicadas e para diferentes ângulos de saída (adaptado de [116]).

Finalmente, no âmbito do projecto europeu RISER ([77], [79] e [80]), foram reconstituídos 82 acidentes, referentes a 7 países europeus, para a análise das características de saída da faixa de rodagem por parte de veículos descontrolados. A informação diz respeito a todos os tipos de estrada, não estando desagregada, devido ao reduzido número de acidentes analisado.

A distribuição cumulativa dos ângulos de saída a partir dos dados de acidentes é apresentada na Figura 31. Neste contexto é da maior relevância a identificação dos ângulos de saída mais comuns. Pela Figura 31 é possível constatar, por um lado, que 90% dos ângulos de saída são inferiores a 20°, o que justifica a escolha do ângulo de saída dos ensaios de choque para avaliação de desempenho dos sistemas de retenção de veículos no âmbito das respectivas homologações à luz das normas CEN. Por outro lado o valor de 5.8° corresponde, aproximadamente, ao ângulo mediano de saída observado.

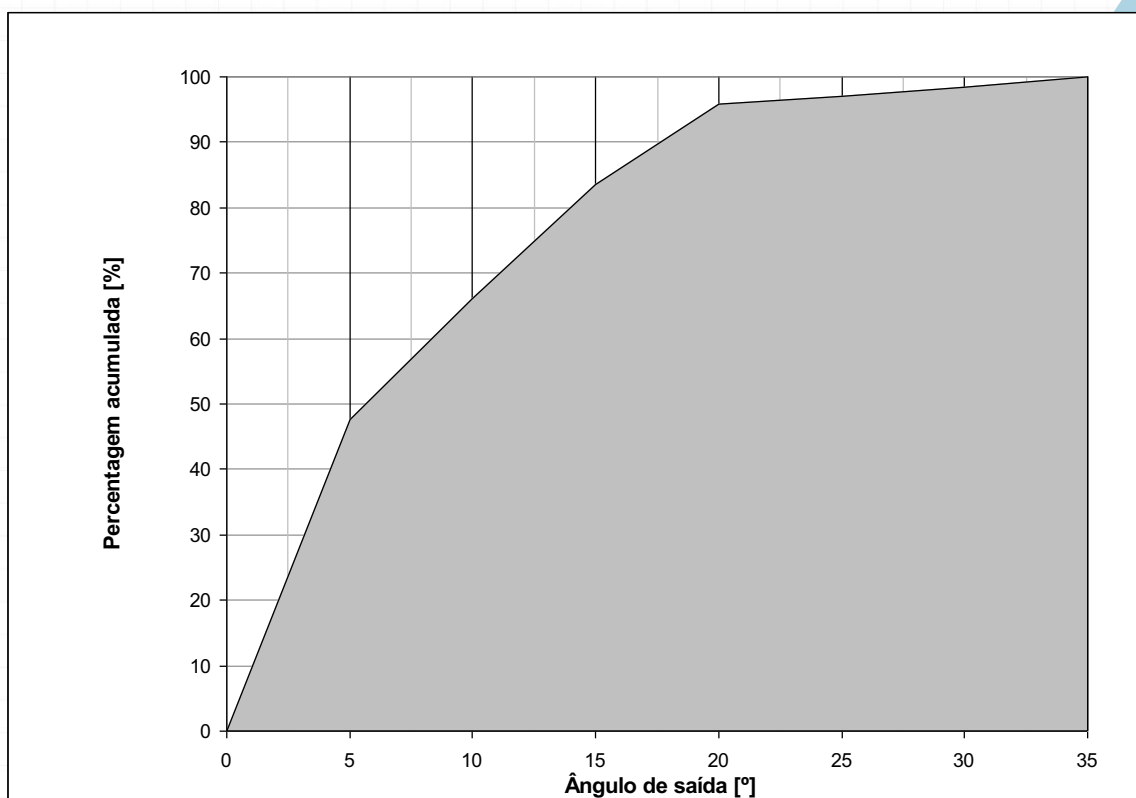


Figura 31 – Distribuição de ângulos de saída em despistes (adaptado de [80]).

Assim, e de acordo com o projecto RISER [80], a largura de zona livre calculada para um ângulo de saída de 5° é um referencial adequado para o estabelecimento de critérios de dimensionamento da AAFR. Refira-se que a escolha de ângulos de saída superiores a 5° conduz a maiores dimensões da zona livre, normalmente superiores à prática corrente na maioria dos países analisados (ver capítulo 4.3).

4.2.4 Extensão transversal

A maioria dos dados de sinistralidade recolhidos relativos a incursões de veículos descontrolados na AAFR baseia-se na posição final destes veículos. Geralmente, considera-se como distância percorrida pelos mesmos, a extensão percorrida perpendicularmente ao eixo da estrada, a partir do limite da faixa de rodagem. Esta distância resulta do ângulo de saída, do efeito de qualquer intervenção do condutor na direcção do veículo que lhe modifique a trajectória, e da distância percorrida pelo veículo ao longo deste percurso.

A maioria dos relatórios que abordam esta questão refere a investigação norte americana desenvolvida nos anos 60 e 70, sintetizada em publicação do Transportation Research Board [44].

Segundo o *Highway Design and Operational Practices Related to Highway Safety* [2], de 1974, uma zona livre com uma largura não inferior a 9.1 metros (30 pés) permite que cerca de 80% dos condutores de veículos que saiam descontroladamente da faixa de rodagem, e que circulem a velocidade instantânea não inferior a 112 km/hora (70 milhas/hora), possam recuperar o controlo da mesma (ver Figura 32). Se esta largura for reduzida para 6.1 metros (20 pés), cerca de 65% dos veículos podem recuperar, e se esta largura for aumentada para 12.2 metros (40 pés), cerca de 87% dos veículos irão recuperar. Este estudo foi efectuado em zonas com taludes de baixa inclinação (menos de 10%).

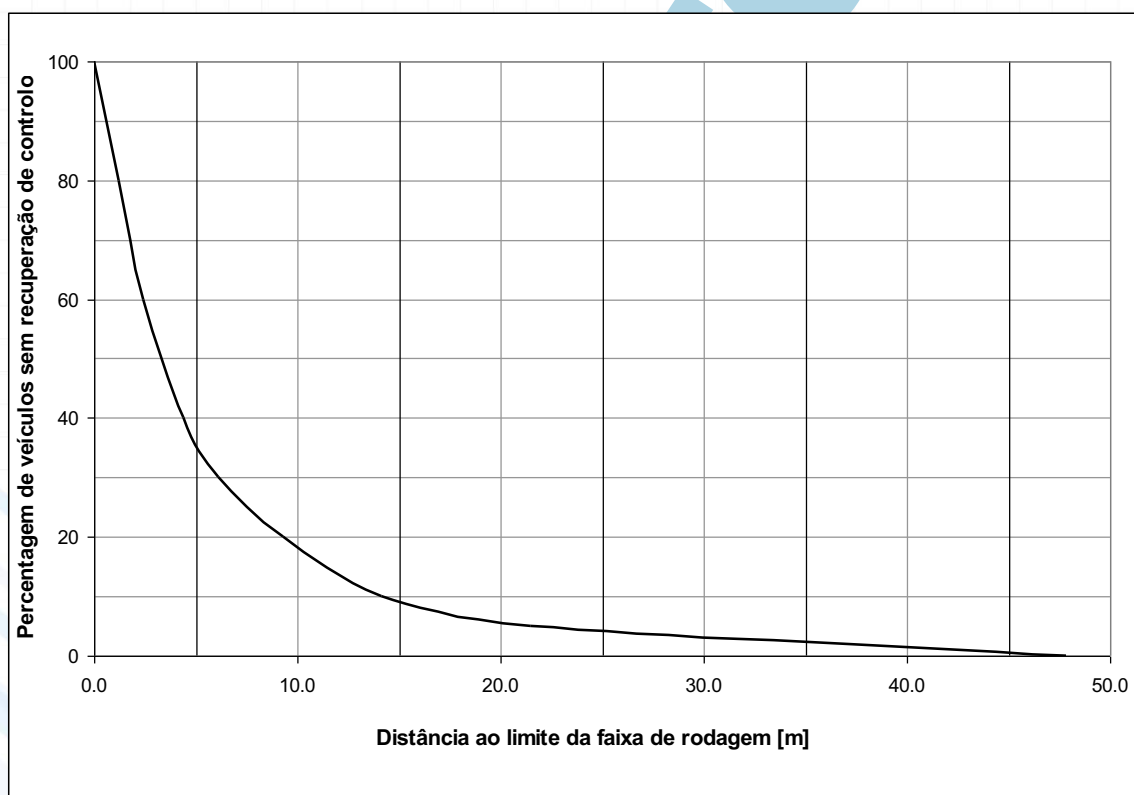


Figura 32 – Relação geral para a distribuição de acidentes na zona livre (adaptado de [2]).

Na década de 80, nos EUA, foi desenvolvida investigação, no âmbito de um relatório do Transportation Research Board [109] que revelou uma relação significativa entre a largura da

zona livre e a taxa relativa de acidentes em estradas rurais de duas vias (ver Figura 33). A largura da zona livre corresponde, neste caso, à distância entre o limite exterior da berma e o obstáculo perigoso mais próximo. A taxa relativa de acidentes é definida como um múltiplo dos acidentes envolvendo um único veículo por milhão de veículos.milhas para uma zona livre com, aproximadamente, 6 metros (correspondentes a 20 pés). Estima-se que, por exemplo, a um aumento da largura da zona livre de 1.5 para 6 metros (5 para 20 pés) corresponda uma diminuição de, aproximadamente, 35% no número de acidentes envolvendo um único veículo.

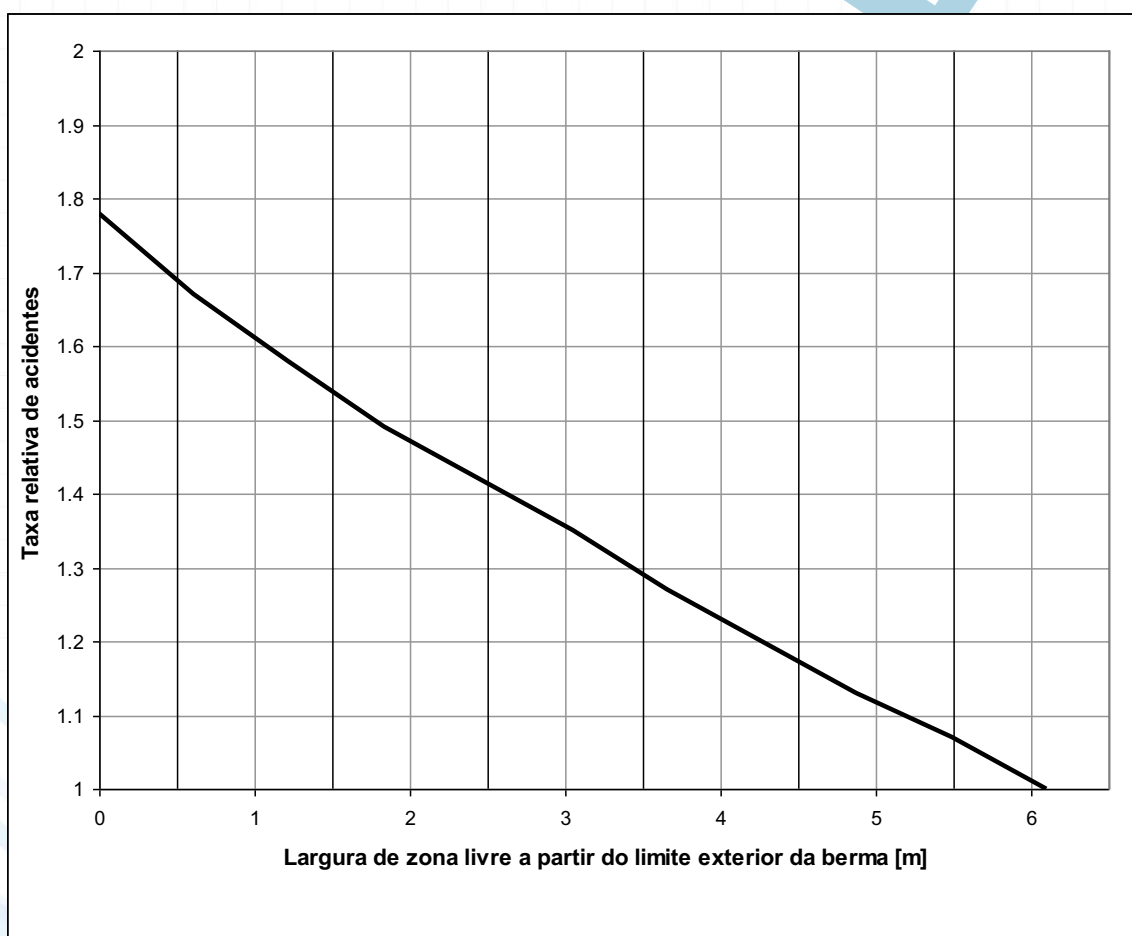


Figura 33 – Relação entre acidentes e largura da zona livre (adaptado de [109])

No estudo desenvolvido por Mak (citado em [95]), anteriormente referido, foi também analisada a distribuição da extensão transversal de incursão, parâmetro importante nos modelos de probabilidade de incursão na AAFR. Estas distribuições podem estar afectadas

pelo efeito das características superficiais das bermas. É provável que muitas incursões analisadas – ocorridas em estradas com bermas pavimentadas – não se tenham prolongado para lá da berma, ou muito para além desta, não sendo por isso detectadas ou registadas. Ou seja, pode ter havido uma subavaliação do número de incursões com uma extensão transversal inferior a 4 metros (13.2 pés) devido à presença de bermas pavimentadas.

Essas incursões não detectadas podem explicar a ausência de dados nos primeiros 4 metros das curvas de extensão transversal de incursão (ver Figura 34).

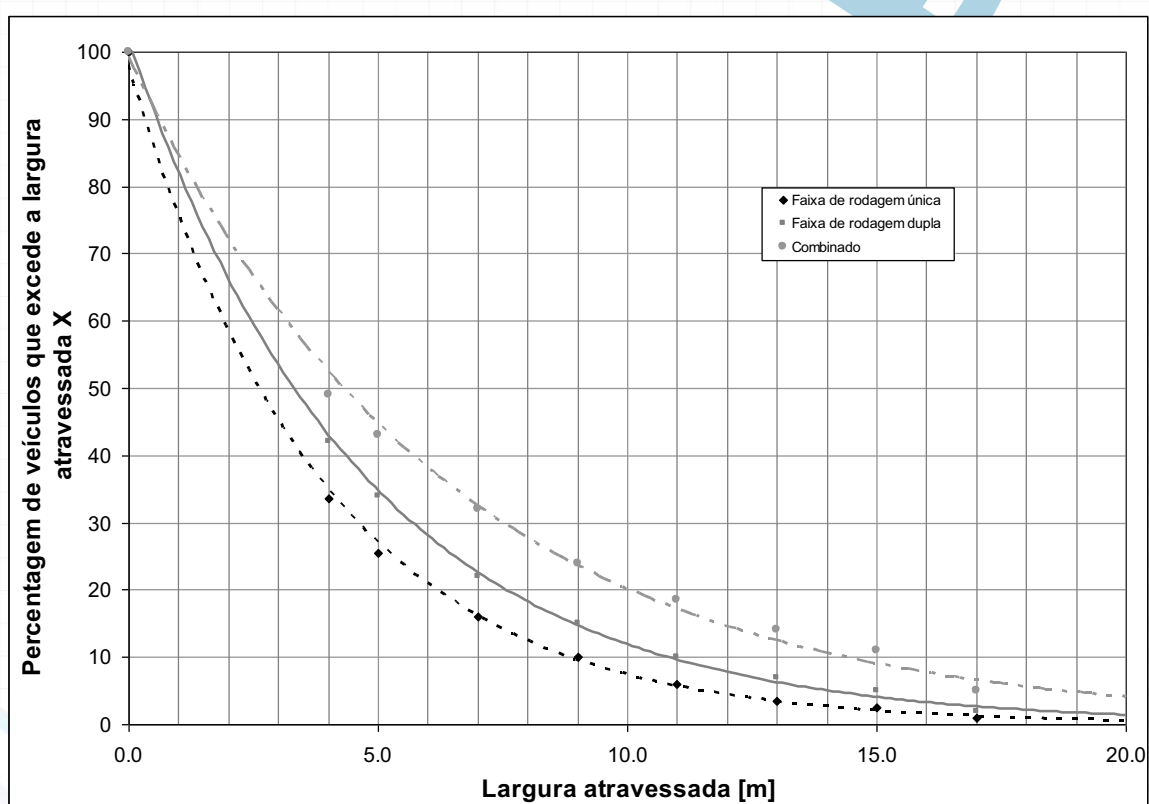


Figura 34 – Distribuições da extensão transversal de incursão para diferentes tipos de estrada (adaptado de [62]).

Para o programa RSAP [62] foram desenvolvidos, tendo por base este estudo, ajustamentos para a AAFR excluindo os dados de incursão relativos à zona desta onde a berma possa ter influência, ou seja, nos seus primeiros 4 metros. No âmbito destes ajustamentos procedeu-se à reanálise dos dados de Cooper (citado em [57], [62], [65], [120] e [96]) sobre a extensão da

incursão transversal na AAFR, o que permitiu o ajuste de um modelo de regressão aos dados relativos à extensão transversal de incursão, para extensões superiores a 4 metros.

Na década de 1990, também nos EUA foram publicados os resultados de um estudo realizado por McGee [64], já referido anteriormente, em que se avaliaram as relações entre a frequência de acidentes com postes e a densidade de postes e a sua distância à guia (ver Figura 35). A densidade dos postes foi classificada em três níveis: baixa (inferior a 18.6 postes/km); moderada (entre 18.6 e 31 postes/km); elevada (superior a 31 postes/km).

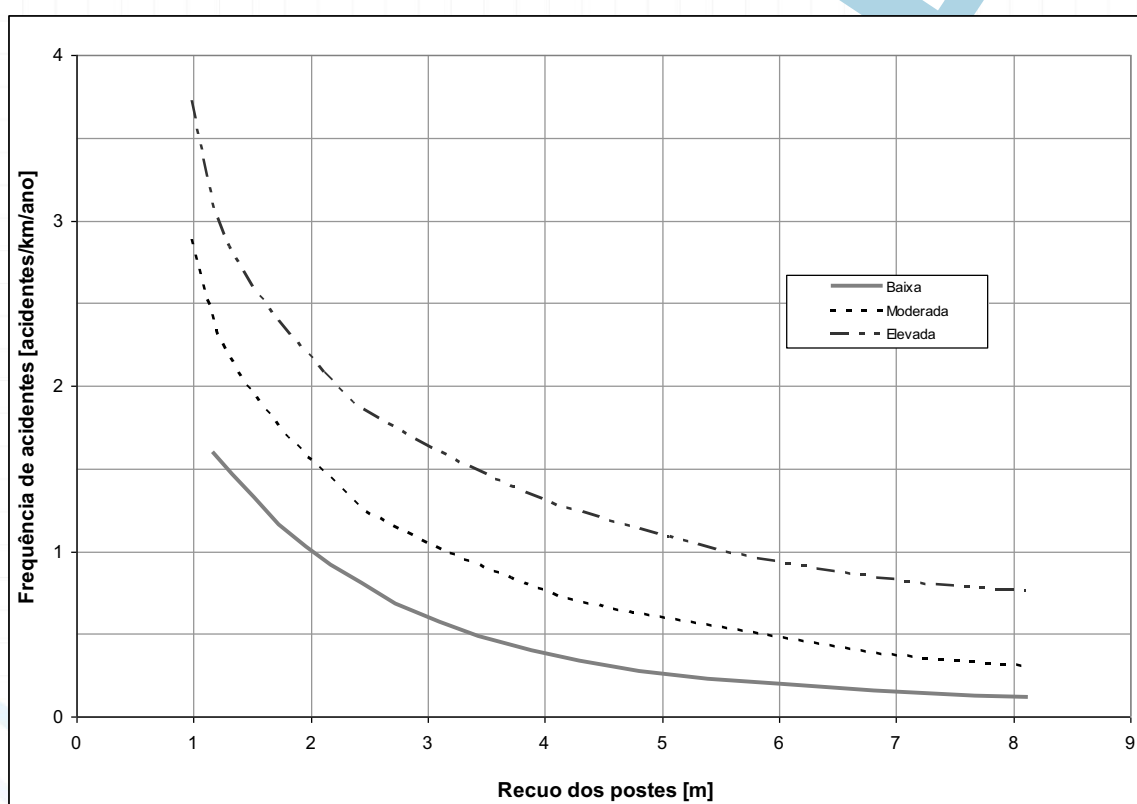


Figura 35 – Frequência média anual de acidentes envolvendo postes como função da densidade e recuo dos postes (adaptado de [64]).

Este estudo incidiu sobre cerca de 4000 km de estradas urbanas e rurais, de duas ou mais vias, tendo-se concluído que a frequência de acidentes é afectada, quer pela densidade quer pelo recuo dos postes relativamente ao limite da faixa de rodagem.

Neste estudo é ainda apresentada a relação entre a largura do separador central e os acidentes com despiste neste separador, para estradas com acesso controlado e com separador central sem guardas de segurança, de quatro vias, em Utah e Illinois (ver, respectivamente Figura 36 e Figura 37). Nestas figuras a curva DCG corresponde a acidentes com danos corporais graves (mortais e ferimentos graves), a curva DC a acidentes com danos corporais (mortais e ferimentos) e a curva DM a acidentes exclusivamente com danos materiais.

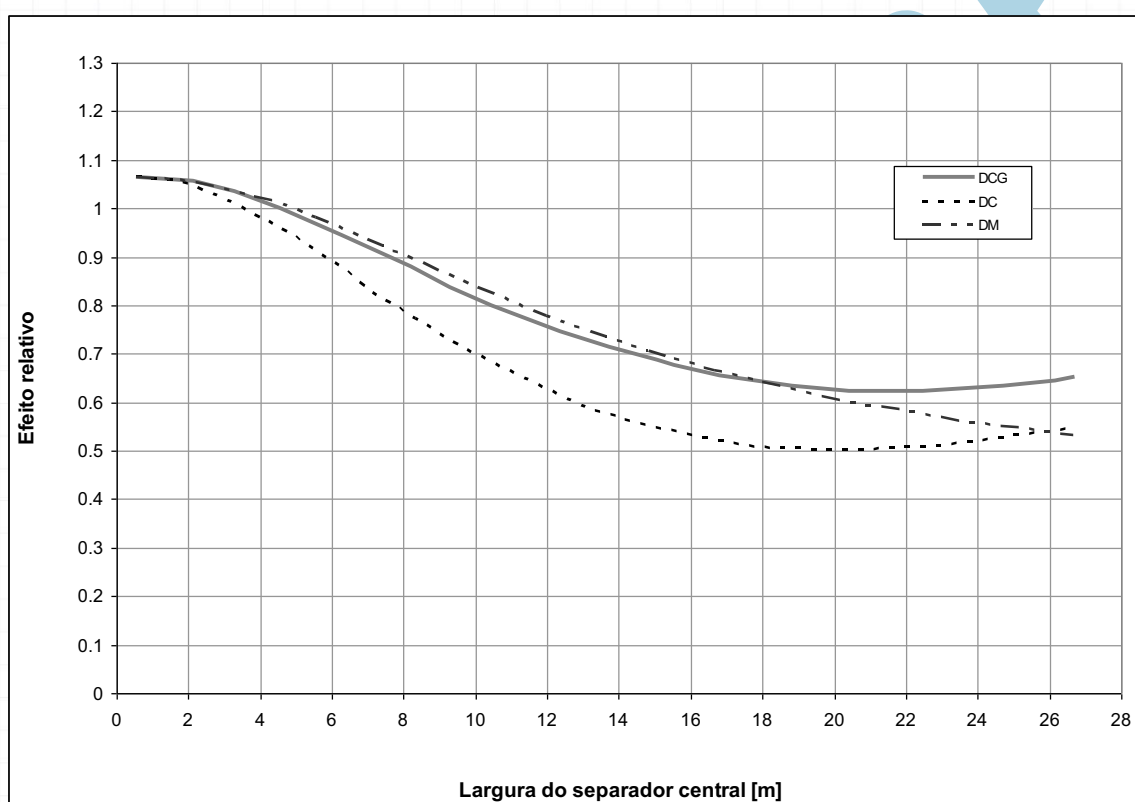


Figura 36 – Efeito relativo estimado da largura do separador central nas taxas de acidentes para secções de estrada com quatro vias e dois sentidos, em Utah (adaptado de [64]).

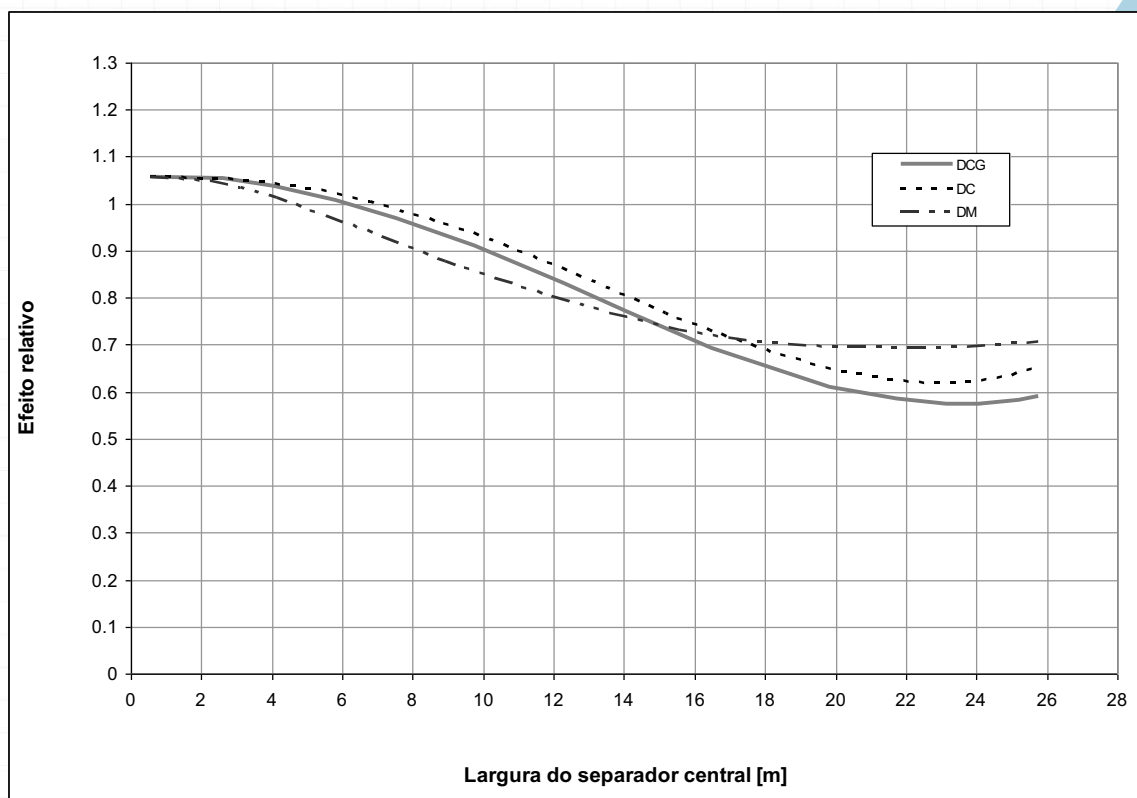


Figura 37 – Efeito relativo estimado da largura do separador central nas taxas de acidentes para secções de estrada com quatro vias e dois sentidos, em Illinois (adaptado de [64]).

Com base neste estudo é possível concluir que a taxa de acidentes vai diminuindo significativamente à medida que aumenta a largura do separador central, até se atingir um valor da ordem dos 20 m.

Na Europa, Ehrola (citado em [57]) investigou, na Finlândia durante o período 1971-1975, os incidentes em que os veículos saíam da faixa de rodagem, tendo constatado que em mais da metade dos casos, o veículo viria a parar na valeta, enquanto 1 em cada 10 veículos tinha-se deslocado 12 metros contados a partir do limite da faixa de rodagem. No caso de acidentes mortais, cerca de 6 em cada 10 veículos que saíram da faixa de rodagem tinham capotado e 3 em cada 4 tinham colidido com um obstáculo na AAFR.

Também na década de 1970, foram realizados na Suécia estudos empíricos acerca desta matéria, sendo as dimensões da zona livre – já definida no Quadro 1 – baseadas no estudo de 800 despistes ocorridos neste país no período compreendido entre 1971 e 1974.

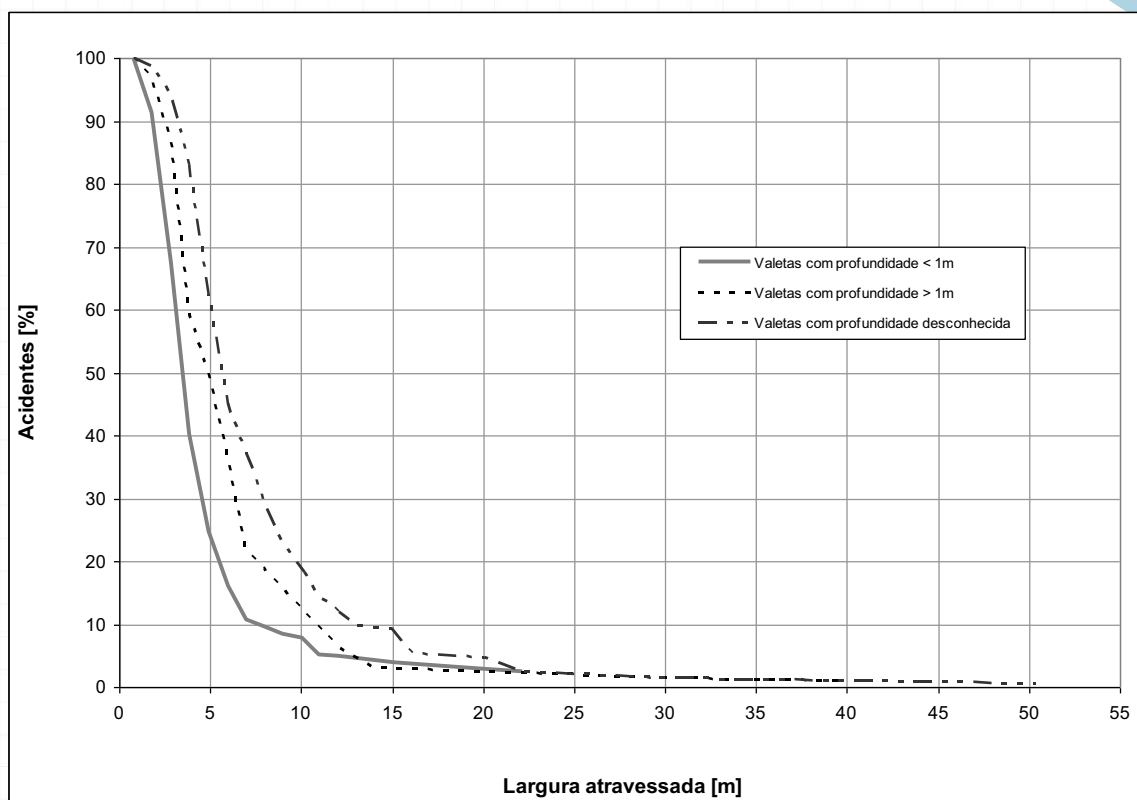


Figura 38 – Percentagem de incursões na AAFR sem colisão com obstáculos para larguras inferiores às indicadas e para diferentes profundidades de valetas (adaptado de [116]).

Na Figura 38 é possível verificar que em cerca de metade dos acidentes sem colisão com obstáculos na AAFR, a largura atravessada pelos veículos foi inferior a 7 metros e em 10% dos mesmos foi superior a 15 metros.

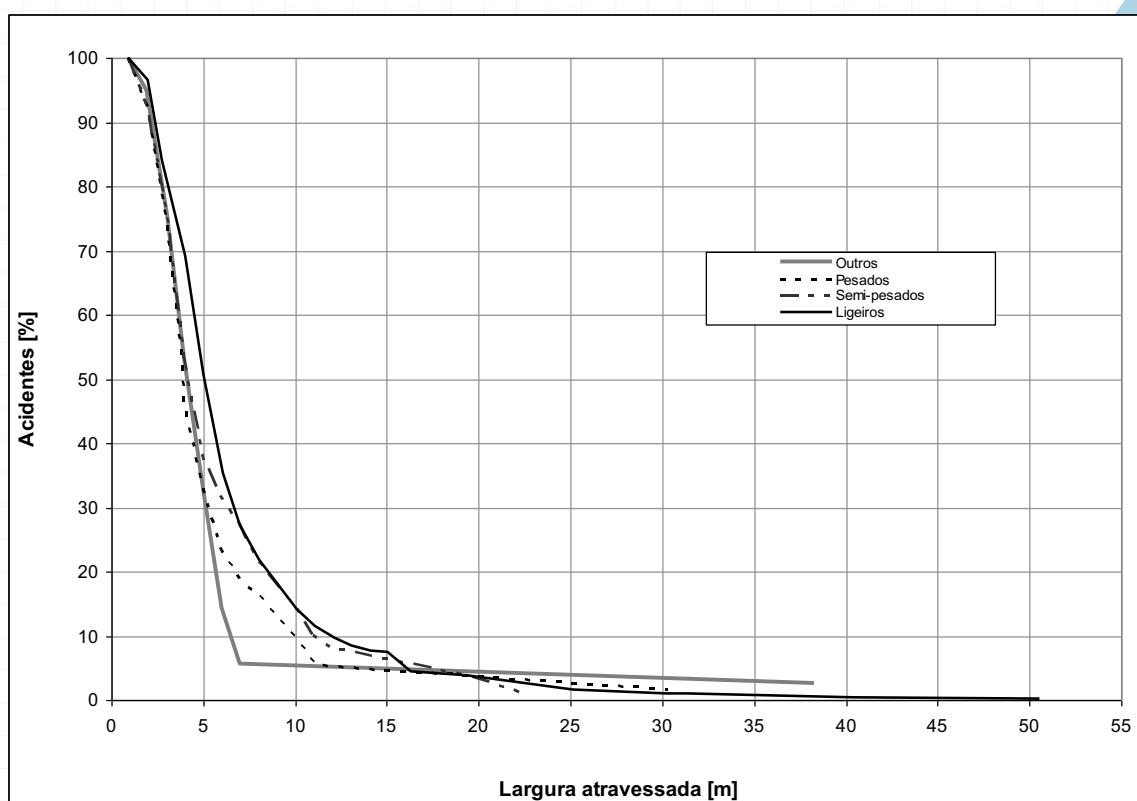


Figura 39 – Percentagem de incursões na AAFR sem colisão com obstáculos para larguras inferiores às indicadas e para diferentes tipos de veículos (adaptado de [116]).

A análise dos valores constantes da Figura 39 permite igualmente verificar que a percentagem de veículos que percorre uma largura superior a 15 metros na AAFR sem colidir com qualquer obstáculo é bastante reduzida, independentemente do tipo de veículo.

Para esta tipologia de acidentes, os resultados obtidos (ver Figura 30, Figura 38 e Figura 39) indicam que a distância entre o limite da faixa de rodagem e o obstáculo perigoso apresenta:

- Um ligeiro efeito no primeiro metro;
- Um forte impacto a partir do primeiro metro até aos 10-15 metros;
- Um efeito marginal para distâncias maiores.

No início da década de 1980 foi realizado na Holanda ([87] e [88]) um estudo acerca da largura desejável para a zona livre de obstáculos. Este estudo envolveu secções de estrada com filas de árvores alinhadas a diferentes distâncias do limite da faixa de rodagem. Foi

definido o risco de colisão com árvores através da relação entre o número de acidentes envolvendo árvores e o número de acidentes em que as árvores não estiveram envolvidas. Foi estabelecida a relação entre o risco de colisão com árvores e a distância da fila de árvores à faixa de rodagem.

Neste estudo foram analisados três tipos de estradas: auto-estradas, estradas com uma faixa de rodagem e estradas rurais com uma faixa de rodagem.

Nas figuras seguintes (Figura 40, Figura 41 e Figura 42) consideram-se as distâncias das filas de árvores à berma medidas a partir da guia direita.

O tráfego médio diário é utilizado como parâmetro e as curvas apresentadas são linhas de regressão baseadas nos valores encontrados. Nos gráficos é indicado se as linhas de regressão são significativas ou não; caso não o sejam a linha apresenta-se a tracejado e define-se como linha ajustada.

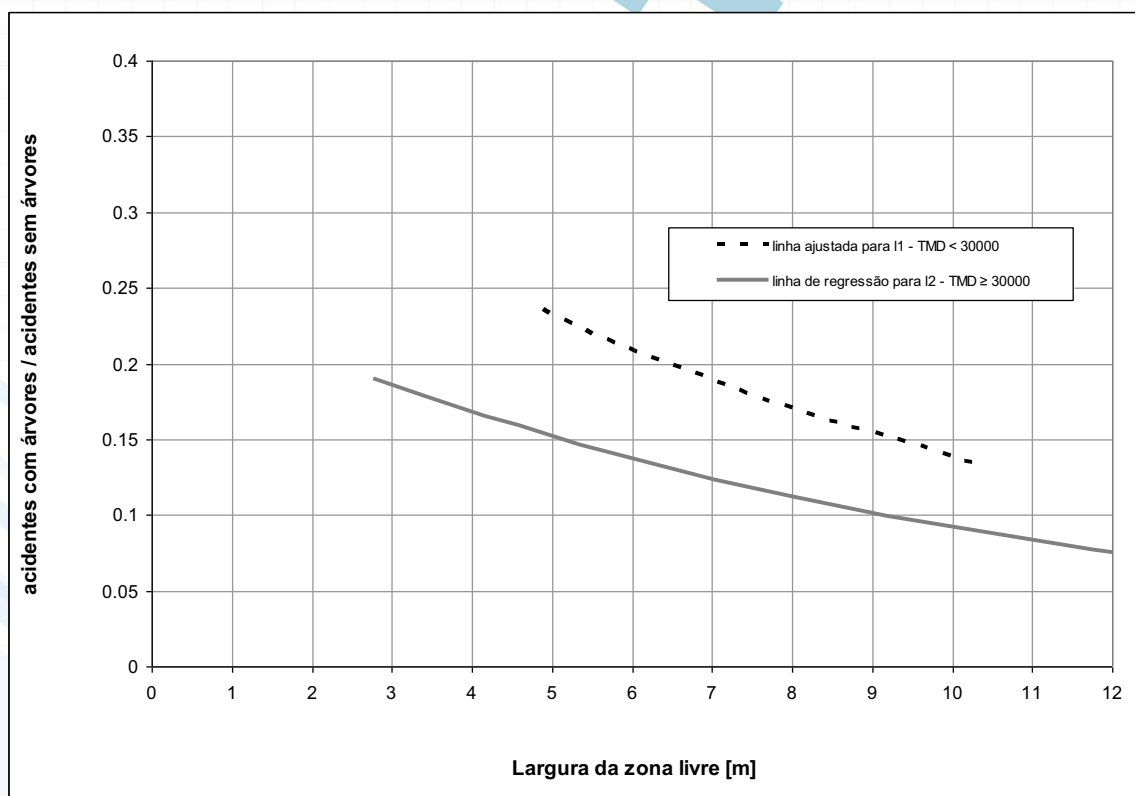


Figura 40 – Relação entre o risco de colisão com árvores e a distância da fila de árvores à berma em auto-estradas (adaptado de [88]).

Na Figura 40 pode ver-se que para árvores a uma distância aproximada de 10 metros da estrada, para cada 10 acidentes com árvores ocorrem 100 acidentes em que as árvores não intervêm.

A figura seguinte (Figura 41) é relativa a estradas de uma faixa de rodagem.

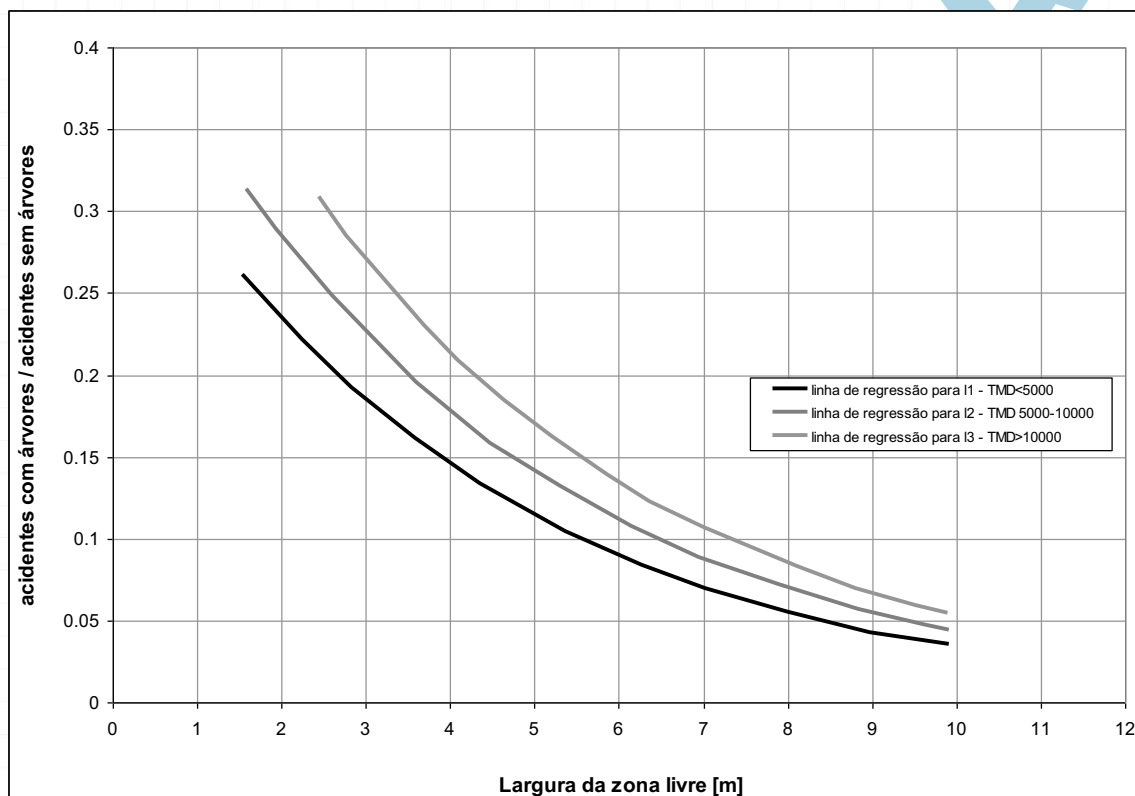


Figura 41 – Relação entre o risco de colisão com árvores e a distância da fila de árvores à berma em estradas com uma faixa de rodagem (adaptado de [88]).

Para esta situação a distância para a qual a relação é de 10 para 100 é de cerca de 7 metros, para um Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) entre 5000 e 10000 veículos.

Em seguida apresenta-se a Figura 42 relativa a estradas rurais.

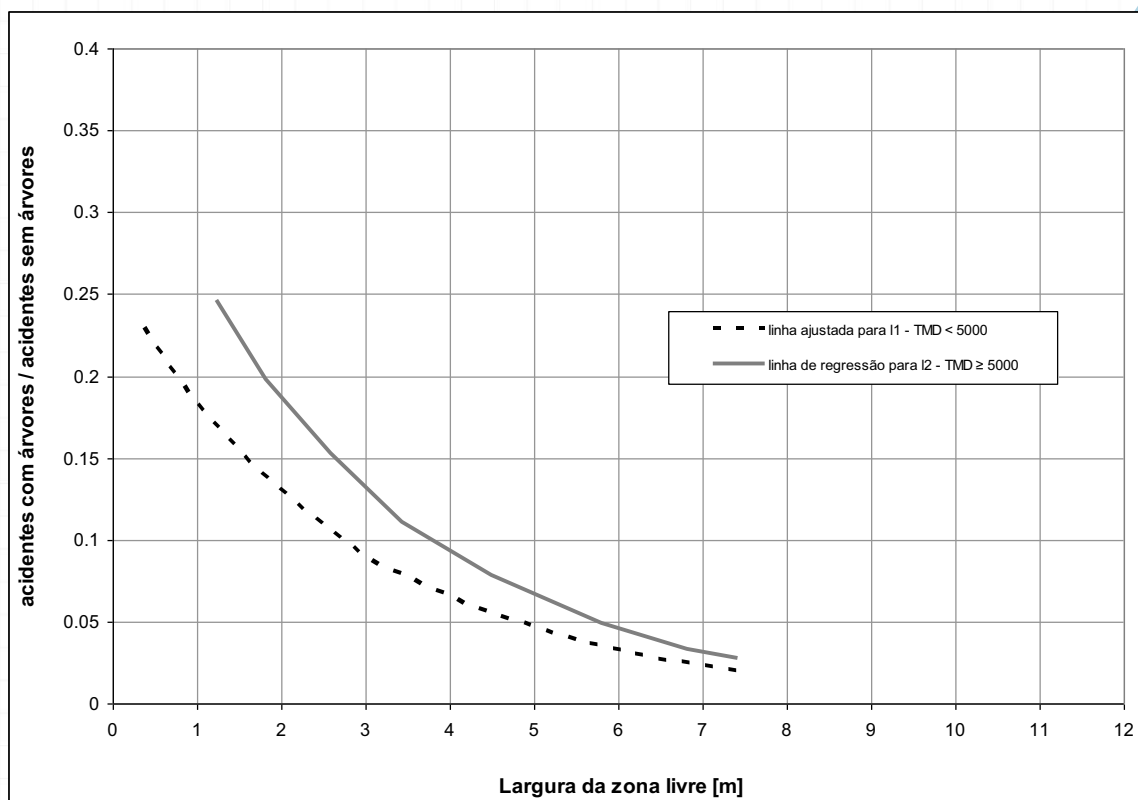


Figura 42 – Relação entre o risco de colisão com árvores e a distância da fila de árvores à berma em estradas rurais com uma faixa de rodagem (adaptado de [88]).

Continuando a considerar o valor de 0.10 como limite aceitável para o risco de colisão com árvores é possível verificar que este tipo de estradas deveria ter uma zona livre de obstáculos com uma largura de 3.5 metros.

Assim, e tendo como base a análise de acidentes realizada, o SWOV estimou a largura mínima da zona livre, em função do tipo de estrada, a saber [88]:

- 3.5 metros para estradas rurais de uma faixa de rodagem;
- 7 metros para estradas de uma faixa de rodagem;
- 10 metros para auto-estradas.

O SWOV elaborou, igualmente, um conjunto de recomendações técnicas relativas ao dimensionamento dos taludes da AAFR, por verificar a sua importância para a sinistralidade.

Recentemente, no âmbito do projecto europeu RISER ([77], [79] e [80]), foi analisada uma base de dados detalhada de acidentes, tal como referido em 4.2.3. A Figura 43 ilustra o afastamento lateral mínimo e máximo observado dos diferentes obstáculos embatidos no decurso desses acidentes. Esta figura demonstra que a maioria das colisões ocorre nos primeiros 10 m da AAFR.

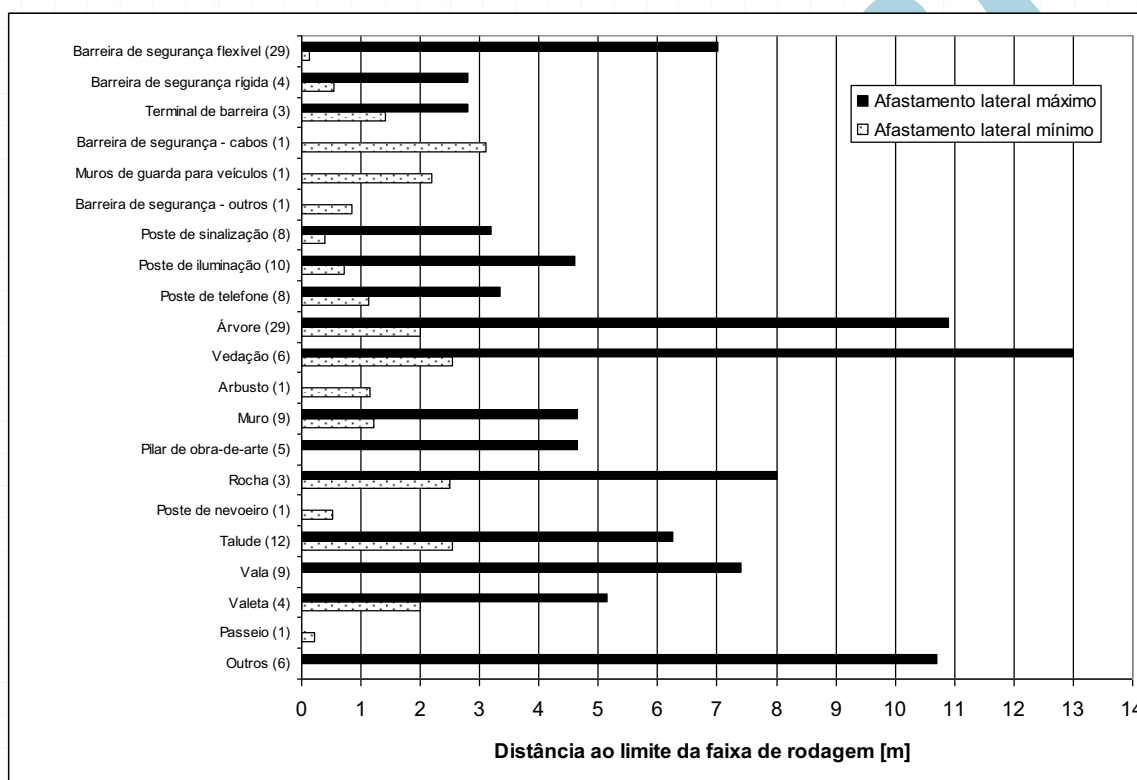


Figura 43 – Afastamento lateral dos obstáculos embatidos em despistes – Base de dados de acidentes do projecto RISER [80].

A distribuição acumulada do afastamento lateral dos obstáculos embatidos é ilustrada na Figura 44. O percentil 85 desta distribuição é identificado pelas linhas tracejadas e corresponde a um afastamento de 7 m.

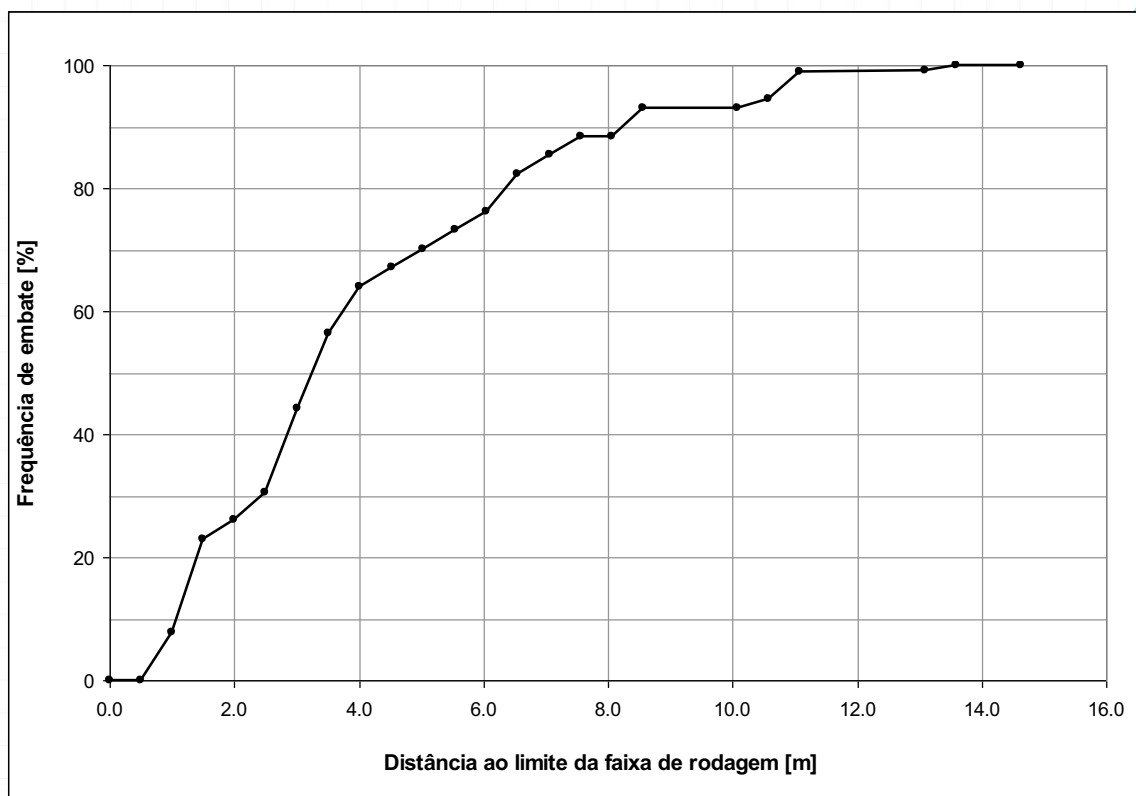


Figura 44 – Distribuição acumulada do afastamento aos obstáculos embatidos em despistes
– Base de dados de acidentes do projecto RISER [80].

4.2.5 Inclinação dos taludes

A largura da zona livre não é uma variável absoluta, sendo sempre necessária a análise cuidada de cada caso específico para ser possível dispor de uma AAFR cujas características contribuam para uma estrada segura.

O desenvolvimento de parâmetros para a obtenção de taludes seguros também tem sido alvo de investigação nos EUA. Para que um talude seja considerado seguro, ou seja, para que não haja a necessidade de colocação de barreiras de tráfego, é necessário que as suas características obedeçam a determinados critérios relacionados com a inclinação ou com a altura.

A inclinação dos taludes é, pois, um parâmetro de grande importância para a segurança, como é possível verificar nos Quadro 10 e Quadro 11 referentes aos estudos realizados nos EUA pelo Federal Highway Administration (FHWA) [40] e por McGee [64], respectivamente.

Quadro 10 – Redução percentual de despistes e do total de acidentes resultante da redução da inclinação dos taludes (adaptado de [40]).

Inclinação do talude “antes”	Inclinação do talude “depois”							
	1V:4H		1V:5H		1V:6H		1V:7H	
	Despistes	Total	Despistes	Total	Despistes	Total	Despistes	Total
1V:2H	10	6	15	9	21	12	27	15
1V:3H	8	5	14	8	19	11	26	15
1V:4H	0	-	6	3	12	7	19	11
1V:5H	-	-	0	-	6	3	14	8
1V:6H	-	-	-	-	0	-	8	5

Quadro 11 – Percentagem de redução de acidentes para alterações na inclinação dos taludes (adaptado de [64])

Inclinação do talude na situação inicial	Inclinação final do talude	Redução nos tipos de acidentes relacionados [%]
1V:2H	1V:3H	2
	1V:4H	7
	1V:5H	11
	1V:6H	15
	1V:7H	20
1V:3H	1V:4H	6
	1V:5H	10
	1V:6H	14
	1V:7H	19
1V:4H	1V:5H	4
	1V:6H	9
	1V:7H	14
1V:5H	1V:6H	4
	1V:7H	10
1V:6H	1V:7H	6

Como é possível observar nos quadros anteriores, através da simples alteração da inclinação dos taludes é possível reduzir-se até cerca de 20% dos acidentes relacionados com a AAFR.

De acordo com o *Highway Design and Operational Practices Related to Highway Safety* [2] os taludes em aterro e em escavação devem permitir a possibilidade de recuperação de um veículo descontrolado. Taludes de baixa inclinação e um arredondamento significativo dos pontos de quebra (ver Figura 45) são, assim, os aspectos essenciais do terreno atravessável.

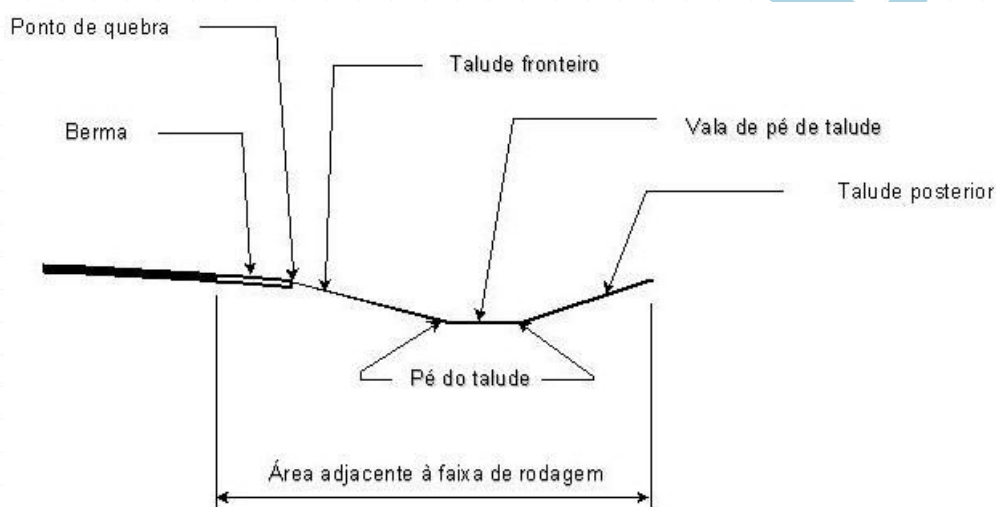


Figura 45 – Elementos da área adjacente à faixa de rodagem

Os pontos de quebra contribuem para a perda de controlo do veículo, uma vez que este tem tendência para perder o contacto com o solo ao passar por este ponto. De acordo com as normas de traçado da AASHTO [1], o arredondamento dos pontos de quebra permite uma redução significativa da probabilidade de um veículo descontrolado perder o contacto com o solo (face ao que aconteceria se as transições de inclinação fossem abruptas), e permite ao condutor um maior controlo sobre o veículo, reduzindo assim a probabilidade de ocorrência de acidentes.

Ao nível europeu, foram efectuadas na Holanda simulações matemáticas do comportamento dinâmico dos veículos em taludes (citado em [87]).

Os resultados das simulações foram verificados através de doze testes à escala natural, em taludes de 1V:2.2H e 1V:4H (ver Figura 46). Com base neste estudo foi possível concluir que o raio de curvatura da crista do talude (ponto de quebra) é da maior importância para prevenir que os veículos percam o contacto com o solo. Para taludes em declive, o raio de curvatura não deve ser inferior a 9 metros, devendo, preferencialmente, ser 12 metros. Com uma inclinação de 1V:4H, o veículo mantém o contacto com o solo, mas manobras com o volante não permitem recuperar o controlo do veículo. Se o que se pretende é que o condutor tenha o controlo do veículo no talude, uma inclinação de pelo menos 1V:5H é necessária nos taludes elevados de, por exemplo, 5 metros. Para taludes mais baixos (de aproximadamente 2 metros) é necessária uma inclinação de pelo menos 1V:6H.

Os taludes ascendentes foram também analisados neste estudo, através da simulação de manobras de travagem e de guiamento. Concluiu-se, neste caso, que o raio de curvatura no pé do talude (ponto de quebra) teria de ser de, pelo menos, 4 metros e que inclinações de 1V:2H ou mais suaves seriam aceitáveis.

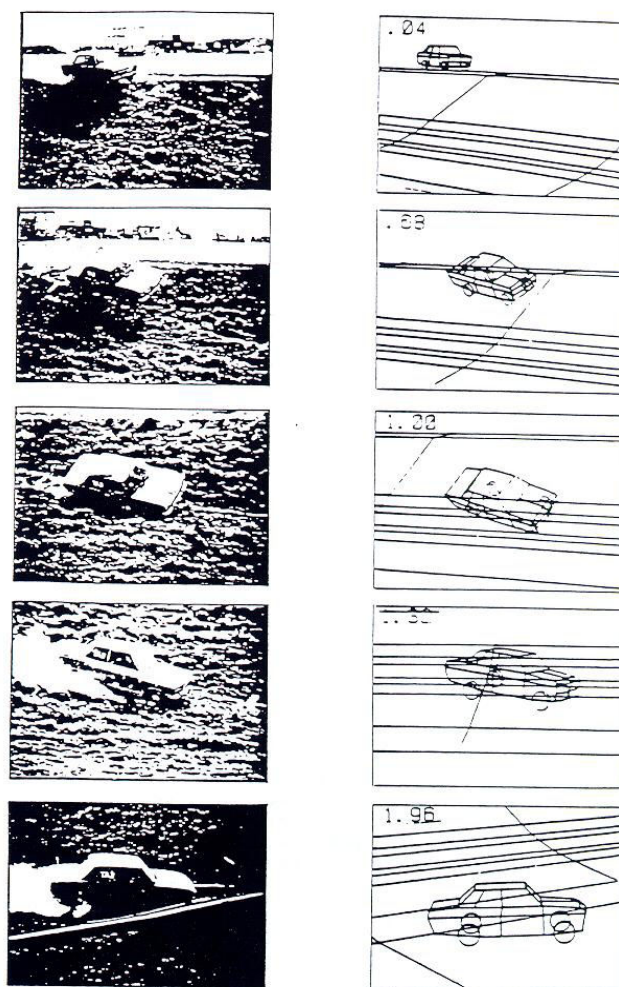


Figura 46 – Verificação da simulação através de testes à escala natural [87].

Mais recentemente, o estudo de Elvik et al. [31], já referido anteriormente, permitiu relacionar as alterações à inclinação dos taludes com a alteração percentual no número de acidentes, apontando para reduções muito significativas do número de acidentes pela simples redução da inclinação dos taludes (ver Quadro 12).

Quadro 12 – Efeito da redução da inclinação dos taludes no número de acidentes
(adaptado de [31]).

Redução da inclinação	Gravidade do acidente	Tipo de acidente afectado	Percentagem de alteração do número de acidentes	
			Melhor estimativa	Intervalo de Confiança de 95%
De 1V:3H para 1V:4H	Com vítimas	Todos	-42	(-46;-38)
	Danos materiais	Todos	-29	(-33;-25)
De 1V:4H para 1V:6H	Com vítimas	Todos	-22	(-26;-18)
	Danos materiais	Todos	-24	(-26;-21)

A classificação dos taludes adoptada no Roadside Design Guide [4] da AASHTO partilha estas preocupações, ao classificar os taludes em três categorias em função da sua inclinação:

- Talude recuperável: Talude cuja inclinação permite ao condutor de um veículo descontrolado efectuar uma manobra controlada. Taludes com inclinações iguais ou inferiores a 1:4 são considerados recuperáveis;
- Talude irrecuperável: Talude cuja inclinação faz com que um veículo descontrolado que nele tenha de circular, continue a fazê-lo até atingir o fundo, sem ter a possibilidade efectuar uma manobra controlada. Taludes com inclinações superiores a 1:4, mas não superiores a 1:3, são considerados irrecuperáveis;
- Talude crítico: Talude cuja inclinação torna muito provável o capotamento de um veículo que nele tenha de circular. Taludes com inclinações superiores a 1V:3H são considerados taludes críticos.

Esta classificação apresenta semelhanças com a da norma de traçado sueca “VU94 (Road Design 94)” [116] referida em 2.2.

4.3 Obstáculos na AAFR

A presença junto a uma estrada de elementos tais como postes de electricidade e telefone, árvores, suportes de sinalização, barreiras de segurança, lancis, entre outros, deve merecer

uma atenção redobrada, e ser acompanhada de um adequado dimensionamento da AAFR ou da instalação de um sistema de retenção dos veículos descontrolados.

O dimensionamento de uma AAFR segura pressupõe a identificação dos obstáculos perigosos nela presentes. Uma vez identificados, é possível estabelecer estratégias, ou medidas, adequadas para proteger o tráfego desses obstáculos perigosos.

Na descrição de obstáculos perigosos a ter em conta podem ser definidas duas classes: obstáculos pontuais e obstáculos lineares.

Estas duas classes correspondem a procedimentos distintos para a selecção de medidas mitigadoras. No entanto, a estratégia geral a ser aplicada a ambos os casos é comum e consiste nos passos seguintes (conforme referido em 2.2):

1. Avaliação do obstáculo perigoso;
2. Se possível, remoção do obstáculo perigoso para fora da zona livre;
3. Não sendo possível, avaliação da possibilidade de modificação do obstáculo perigoso;
4. Em último caso, a protecção do tráfego com um sistema de retenção de veículos.

4.3.1 Obstáculos pontuais

Os obstáculos confinados a uma pequena área podem ser subdivididos em naturais e artificiais (construídos pelo Homem). De acordo com os resultados do projecto europeu RISER [80], os obstáculos pontuais presentes na AAFR mais importantes são objectos estreitos, como as árvores e os postes. É da maior importância que as dimensões da zona livre sejam escrupulosamente respeitadas e que todas as árvores ou postes sejam removidos desta zona.

De uma maneira geral, os obstáculos pontuais podem ser: suportes de sinalização vertical ou pré-sinalização e de iluminação; postes de electricidade e de telefone; postes dos painéis de sinalização; cabinas telefónicas de S.O.S; bocas de aqueduto; e árvores.

4.3.1.1 Suportes da sinalização vertical ou pré-sinalização e da iluminação

O equipamento de segurança colocado na área adjacente à faixa de rodagem mais comum inclui os suportes da sinalização vertical ou pré-sinalização e da iluminação [67].

De acordo com Powers *et al.* [71], nos EUA praticamente todos esses suportes são concebidos para ceder ao impacto, prevenindo assim súbitas desacelerações dos veículos e ferimentos nos seus ocupantes. Os sinais pequenos cedem, geralmente, por flexão ou por fractura, enquanto que os maiores cedem através da combinação de uma base deslizante e de uma charneira. Os sinais em treliça ou suspensos, os quais não podem ser redimensionados para aumentar a segurança, são normalmente dotados de protecção do tráfego.



Figura 47 – Base deslizante de um sinal de pequenas dimensões [124].

Uma preocupação existente nos EUA com os suportes frágeis é a disparidade existente entre as condições de teste a que estes suportes são sujeitos, antes da sua colocação nas estradas, para fins de homologação, e a respectiva aplicação prática. Na fase de testes o terreno é plano e de nível com a superfície do pavimento, e os impactes envolvem a zona frontal do veículo. A investigação de acidentes indica que em muitos despistes o veículo não está exclusivamente em deslizamento longitudinal, tendo, adicionalmente, uma importante

componente de deslizamento lateral. Em testes realizados, nos quais os veículos foram sujeitos a impactes laterais, concluiu-se que alguns mecanismos frágeis não funcionam correctamente quando atingidos dessa forma. De facto este tipo de suportes foi concebido e funciona melhor quando se trata de colisões frontais de veículos que circulem em terreno plano e nivelado [71]. Atendendo ao referido, nos EUA, na utilização de dispositivos frágeis deve atender-se ao ambiente em que estes vão ser instalados.

Os suportes de sinalização e iluminação frágeis devem ser colocados não só onde a probabilidade de serem atingidos por um veículo seja mínima, mas também de forma a funcionarem correctamente no caso de virem a ser atingidos.

4.3.1.2 Postes de electricidade e de telefone

De forma idêntica, os postes de electricidade e de telefone que ocupam a zona da estrada devem ser colocados tão longe quanto possível da faixa de rodagem e nos locais onde a probabilidade de serem atingidos for menor. Para reduzir o número de postes, a sua interdistância deve ser a maior possível. Deve ser prestado um cuidado especial quanto à localização dos postes, evitando zonas particularmente susceptíveis de serem atingidas por veículos descontrolados, como é o caso dos ilhéus direccionais.

Quando os postes não podem ser eliminados nem colocados em locais mais seguros, devem ser utilizados postes do tipo frágil ([4], [119] e [87]).

Nos casos em que é economicamente viável, como pode ser o caso de novas infraestruturas, a instalação subterrânea das linhas de electricidade e telefones permite um aumento da segurança rodoviária, bem como uma melhoria paisagística ([2] e [4]).

Nos postes existentes seleccionados para acções correctivas, a decisão sobre qual a acção a promover deve ser antecedida por uma análise custo-benefício, a fim de determinar qual a acção mais indicada para a situação específica. As possíveis acções a empreender incluem:

- Colocação das linhas de electricidade e telefones abaixo do nível do solo, nomeadamente em valas técnicas.
- Aumento da distância lateral dos postes ao limite da faixa de rodagem.
- Aumento do espaçamento entre postes
- Utilização múltipla dos postes (utilização conjunta de linhas diferentes)
- Utilização de suportes frágeis

Ao contrário das três primeiras medidas, a utilização de suportes frágeis tem por objectivo reduzir a gravidade dos acidentes, e não diminuir a sua frequência.

É de referir que esta diferenciação, entre redução da gravidade dos acidentes e redução da sua frequência, serve de base à classificação elaborada pelo SETRA [91], na qual a intitulada segurança primária corresponde o objectivo de redução da frequência de acidentes, e a segurança secundária corresponde a redução da gravidade desses mesmos acidentes. Ou seja, de acordo com esta classificação, a utilização de suportes frágeis pertence ao nível da segurança secundária, a qual implica determinadas exigências relativas às características da estrada.

Como conclusão, apresenta-se o quadro seguinte no qual é feito um resumo das medidas possíveis e dos seus efeitos resultantes, aos níveis da gravidade e da frequência dos acidentes, para postes de electricidade e de telefone.

Quadro 13 – Efeitos resultantes das medidas relativas aos postes de electricidade e de telefone (adaptado de [122]).

Medida	Efeito na frequência de acidentes com postes	Efeito na gravidade dos acidentes com postes
Aumento da distância lateral entre os postes e a faixa de rodagem	Provoca uma redução no número de acidentes com postes. Pode ocorrer um aumento das colisões com outros tipos de obstáculos perigosos.	Não provoca efeitos na gravidade dos acidentes.
Linhas subterrâneas	Provoca a eliminação dos acidentes com postes, podendo, no entanto, ocorrer um aumento das colisões com outros tipos de obstáculos perigosos.	Reduz a percentagem de acidentes com feridos e mortos.
Redução da densidade de postes	Provoca uma redução no número de acidentes com postes. Pode ocorrer um aumento das colisões com outros tipos de obstáculos perigosos.	Não provoca efeitos na gravidade dos acidentes.
Combinação do aumento da distância lateral entre postes e da redução da densidade de postes	Provoca uma redução no número de acidentes com postes. Pode ocorrer um aumento das colisões com outros tipos de obstáculos perigosos.	Não provoca efeitos na gravidade dos acidentes.
Utilização de suportes frágeis	Não provoca efeitos na frequência dos acidentes.	Reduz a percentagem de acidentes com feridos e mortos.

4.3.1.3 Postes dos painéis de sinalização

Relativamente aos postes dos painéis de sinalização, os mesmos apresentam-se como uma situação especial, na qual a utilização de suportes frágeis pode não ser desejável. Existem riscos associados à perda temporária de sinalização que têm de ser considerados.

Nos EUA, quando as placas de sinalização estão instaladas em estradas onde são praticadas velocidades de circulação elevadas (geralmente definidas como aquelas que tem limites de velocidade iguais ou superiores a 80 km/h) [4] os suportes de sinalização devem ser colocados tão longe quanto possível da faixa de rodagem. A protecção relativamente a estes suportes pode ser uma solução, quando eles se encontrem na zona livre dessa mesma estrada ([4] e [119]).

4.3.1.4 Cabinas telefónicas de S.O.S.

Outro obstáculo pontual importante é a cabina telefónica de S.O.S. Nos EUA, de acordo com o Roadside Design Guide [4], as cabinas telefónicas de S.O.S. devem ser tratadas como obstáculos perigosos da AAFR. A sua proximidade da faixa de rodagem justifica a utilização de suportes frágeis. Devido às suas dimensões e ao seu peso, elas podem, normalmente, ser projectadas para cumprir os critérios de variação de velocidade (do veículo impactante). Existem, contudo, duas preocupações base na concepção dos suportes das cabinas: por um lado, para prevenir a separação da cabina e a sua intrusão no habitáculo (penetração pelo pára-brisas), aquela deve estar firmemente segura ao seu suporte; e, por outro, o topo do suporte deve estar a, pelo menos, 2700 mm acima do chão.

As cabinas telefónicas devem ser instaladas, sempre que possível, atrás de sistemas de retenção de veículos, não só para evitar que possam ser atingidas por um veículo descontrolado, mas também para reduzir o risco de um utilizador (que esteja a utilizar a cabina telefónica), ser atingido por um veículo.

Paradoxalmente, em França, de acordo com o Highway Design Guide [89], considera-se que uma cabina telefónica não representa, por si só, um obstáculo perigoso. Consequentemente, a colocação de qualquer sistema de retenção de veículos para a proteger torna-se desnecessária. Importa referir que, no caso francês, as cabinas telefónicas são concebidas de modo a que quando atingidas por um veículo, não resultem daí forças de impacto inaceitáveis no veículo ou nos seus ocupantes ou que não coloquem estes numa posição perigosa. No caso português, as cabinas telefónicas (ver Figura 48) devem ser consideradas como obstáculos perigosos, requerendo por isso uma atenção especial.

Por outro lado, em ambos os países, a fundação do suporte da cabina não deve estar a um nível superior ao da berma, para evitar a existência de saliências rígidas, muito perigosas em caso de colisão.

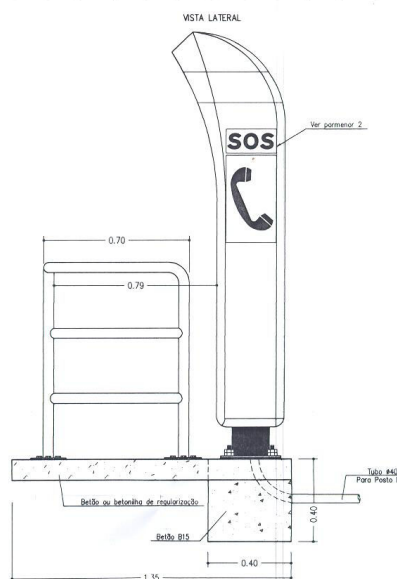


Figura 48 – Posto S.O.S. [53]

De acordo com os desenhos tipo da Junta Autónoma de Estradas [53], as cabinas telefónicas têm que ser colocadas a uma distância de 1,20 metros do limite exterior da berma. É ainda recomendada a colocação de uma barreiras de segurança exactamente no limite exterior da berma, com uma extensão mínima de 120 metros (60 metros a jusante e 60 metros a montante do posto S.O.S.) no caso de estradas com uma faixa de rodagem ou 60 metros (na totalidade a montante do posto) no caso de estradas com dupla faixa de rodagem. De referir que junto aos postos S.O.S. existe sempre uma abertura na barreira de segurança (ver Figura 49). Neste caso, o desempenho das barreiras nesta zona é insatisfatório.



Figura 49 – Cabina telefónica de S.O.S.

Para postos S.O.S. recomendam-se, por ordem de preferência, as seguintes medidas:

- Utilização de suportes frágeis, uma vez que, nesse caso, a cabina telefónica não representa, por si só, um obstáculo perigoso, tornando-se desnecessária a colocação de qualquer sistema de retenção de veículos para proteger o tráfego;
- Manutenção dos postos de S.O.S. actuais, constituindo obstáculos perigosos, havendo que prever a instalação de uma barreira de segurança cujo *comprimento necessário* deverá ser calculado de acordo com as recomendações para a selecção e colocação de sistemas de retenção rodoviários de veículos, elaboradas pelo LNEC [84]. Neste caso não deverá existir qualquer abertura ao longo da barreira.

4.3.1.5 Bocas de aquedutos

Os aquedutos são estruturas concebidas para transportar água por baixo da plataforma podendo variar significativamente em termos de dimensões e materiais utilizados. Normalmente as suas bocas de entrada e de saída são constituídas por paredes verticais de betão para as estruturas maiores e extremidades biseladas para os tubos de menor dimensão. Sendo esta solução eficaz, de um ponto de vista hidráulico, e minimizadora dos problemas

de erosão, pode apresentar problemas ao nível da segurança rodoviária, por constituírem obstáculos perigosos para um veículo descontrolado. Estes dispositivos podem resultar quer em objectos rígidos fixos colocados em locais que, de outra forma, seriam taludes atravessáveis, quer em aberturas nas quais um veículo pode cair, causando-lhe uma paragem abrupta.

As opções existentes para minimizar o perigo destes obstáculos são [4]:

- Utilizar dispositivos atravessáveis (ver Figura 50);
- Afastar o dispositivo reduzindo, desta forma, a probabilidade do mesmo ser atingido;
- Proteger o tráfego do dispositivo, mediante a colocação de barreiras de tráfego;
- Sinalizar o dispositivo, no caso das alternativas anteriores não serem viáveis.



Figura 50 – Boca de aqueduto atravessável [4].

4.3.1.6 Árvores

Por último, destacam-se as árvores, as quais representam um dos obstáculos mais perigosos, em termos de segurança rodoviária. Ao contrário de outros elementos constantes deste

subcapítulo, as árvores não são, normalmente, um elemento de projecto sobre o qual o projectista tenha controlo directo, podendo, no entanto, ser do âmbito do projecto de arranjo paisagístico.

É referido no *“Accidents Mortels contre Obstacles Fixes”* [66] que, cerca de, 60% dos acidentes mortais por colisão contra obstáculos fixos ocorridos em estradas rurais em França, no período compreendido entre Março de 1990 e Fevereiro de 1991 envolvem árvores. Importa ainda referir que 50% dos acidentes mortais que envolveram árvores ocorreu em locais em que estas se encontravam a uma distância inferior a dois metros do limite exterior da faixa de rodagem.

Ainda segundo o mesmo estudo [66], apenas 9% dos acidentes mortais contra árvores, em estradas rurais, estavam associados a árvores isoladas, cabendo aos alinhamentos de árvores a grande maioria deste tipo de acidentes (mais concretamente 63%). Os restantes 28% eram repartidos de forma equitativa pelos bosques e florestas, ou seja, cerca de um quarto dos acidentes contra árvores.

Por vezes, surgem conflitos entre as práticas de arranjo paisagístico e a necessidade de segurança nas estradas. Árvores com troncos largos plantadas ou mantidas muito próximo da faixa de rodagem são potenciais obstáculos perigosos. De acordo com publicação da AASHTO [2] muitos dos estados dos EUA, à data desta publicação (1974), mantinham a plantação de árvores a uma distância igual ou superior a 40 pés (cerca de 12 metros) do pavimento e removiam as árvores existentes que fossem consideradas obstáculos perigosos.

Nos EUA, de acordo com o Roadside Design Guide [4], árvores com diâmetros de tronco superiores a 150 mm são consideradas obstáculos perigosos. Quando conjuntos de árvores ou arbustos, com múltiplos troncos, se encontram muito próximos, devem ser considerados como tendo o efeito de uma única árvore com um diâmetro de tronco equivalente à combinação dos seus diâmetros individuais.

A correcta conservação das estradas pode minimizar futuros problemas através da limpeza da zona livre para impedir que pequenas árvores aí se estabeleçam. Regra geral, as árvores de grande porte devem ser retiradas da zona livre.

Uma AAFR completamente limpa poderia ser considerada por muitos condutores como desinteressante e monótona o que poderia, igualmente, criar problemas ao nível da segurança. A resposta para este problema pode estar na escolha criteriosa de pequenos arbustos, árvores de diâmetro reduzido, a plantação de erva ou no uso generalizado de protecções naturais ou artificiais para as árvores e objectos fixos similares que possam constituir obstáculos perigosos para os veículos que saem da faixa de rodagem.

De acordo com a experiência americana, existem essencialmente dois métodos para mitigar o problema das árvores na área adjacente [4]. O primeiro é contribuir para que o condutor se mantenha na estrada; e o segundo é a redução do perigo inerente à saída de uma plataforma que tem árvores ao longo da estrada.

As intervenções a executar na plataforma podem incluir:

- a colocação de marcas rodoviárias no pavimento, preferencialmente retroreflectorizadas;
- a instalação de delineadores;
- a colocação de sinalização vertical adequada;
- a correcção da plataforma em zonas onde ocorram muitos acidentes com despistes.

As marcas no pavimento são uma das mais eficazes e menos dispendiosas intervenções que podem ser feitas numa plataforma. A linha axial combinada com a marcação das guias é um método particularmente eficaz para estradas com elevado tráfego nocturno, nevoeiro frequente e vias estreitas [4].

A instalação de sinalização de aviso de perigo e de delineadores da plataforma, pode igualmente ser utilizada para avisar os condutores de secções de plataforma em que é necessário um cuidado redobrado.

As intervenções a executar fora da plataforma dividem-se em dois tipos:

- Remoção das árvores;
- Protecção do tráfego em relação das árvores.

A remoção de árvores, numa base individual, deve ser considerada quando, simultaneamente, estas sejam consideradas como obstáculos perigosos e estejam localizadas em zonas onde podem ser atingidas facilmente. Para identificar estas árvores pode recorrer-se aos dados relativos a acidentes em situações semelhantes ou pode fazer-se uma análise da zona em que a árvore se insere.

A remoção de uma árvore não reduz a probabilidade de um veículo sair da faixa de rodagem, mas pode reduzir a gravidade da colisão resultante dessa saída. Uma vez que a remoção de árvores pode ser dispendiosa e tem, normalmente, impactes ambientais negativos, é importante que este tipo de medida só seja tomada quando for uma solução eficaz.

Sempre que uma árvore, ou um conjunto de árvores, se encontre num local vulnerável, mas não possa ser removida, deve ser projectada e instalada uma barreira de segurança para a protecção do tráfego rodoviário. Estas barreiras só devem ser utilizadas quando a gravidade das consequências de uma colisão com a árvore for superior à gravidade das consequências da colisão com a barreira.

De uma maneira geral, um factor a ter em conta diz respeito à variabilidade do perigo associado a um obstáculo pontual em função do utente rodoviário. As consequências de uma colisão com um poste de iluminação serão diferentes, no caso de o corpo móvel ser um veículo ligeiro, um veículo pesado ou um ocupante de um veículo de duas rodas.

Apesar de os obstáculos pontuais estarem associados a um maior perigo para os motociclistas do que para os ocupantes de veículos automóveis, no caso de um despiste, uma berma com obstáculos pontuais é preferível, em termos de segurança para o motociclista, do que uma berma que é completamente protegida por uma barreira de segurança [87].

4.3.2 Obstáculos lineares

Os obstáculos lineares, pela sua natureza, abrangem áreas maiores do que os obstáculos pontuais. Daqui poderão resultar custos mais elevados nas intervenções a promover na AAFR, quando comparados com os relativos ao tratamento de obstáculos pontuais.

Aos obstáculos lineares correspondem as barreiras de segurança, dispositivos de drenagem (lancis e valetas), vedações, zonas de água e taludes.

4.3.2.1 Barreiras de segurança

Fazendo parte dos sistemas de retenção de veículos, as barreiras de segurança, deverão ser o último recurso para se proteger o tráfego dos obstáculos perigosos existentes na zona da estrada.

A presença destes dispositivos representa a aceitação de que a eliminação de um obstáculo perigoso é prática ou economicamente impossível, e que foi necessário proteger o tráfego desse obstáculo. O elevado número de mortos em acidentes com obstáculos fixos, nos quais as colisões com barreiras de segurança são consideradas as situações mais perigosas [67], demonstram que esta protecção não é uma solução totalmente eficaz do ponto de vista da segurança.

4.3.2.2 Dispositivos de drenagem

Por outro lado, os dispositivos de drenagem são um dos elementos mais delicados no projecto de uma estrada ou de uma rua. Estes dispositivos devem ser projectados e construídos, tendo em consideração não só a sua função hidráulica, mas também as suas consequências para o ambiente da área adjacente à faixa de rodagem. O dimensionamento dos dispositivos de drenagem existentes deve ser reavaliado, por forma a combinar segurança rodoviária e eficiência hidráulica ([4], [119] e [2]).

Segundo publicação da AASHTO [2], elementos de drenagem tais como valetas laterais são obstáculos perigosos que devem ser removidos para fora da zona livre. Sempre que estes

elementos estejam em zonas vulneráveis, devem ser concebidos de forma a evitar, ou pelo menos minorar, os danos provocados pela eventual colisão de um veículo descontrolado.

No caso particular dos lancis, para além da sua função de controlo da drenagem, estes dispositivos são também utilizados para várias outras funções: delineação e suporte do limite do pavimento, materialização do início do passeio, redução das operações de manutenção da faixa de rodagem e motivos estéticos. Os lancis podem ser classificados em lancis galgáveis ou não galgáveis. Os lancis não galgáveis são relativamente altos e praticamente verticais, sendo concebidos para desencorajar os condutores a, deliberadamente, saírem da plataforma. Os lancis galgáveis, para além de terem dimensões mais reduzidas, têm faces biseladas as quais, permitem aos veículos o seu atravessamento sem dificuldade. De acordo com o Roadside Design Guide [4], é recomendável a utilização, por parte do projectista, de lancis galgáveis com alturas inferiores a 100 mm, uma vez que alturas superiores podem provocar o embate do lancil na face inferior de alguns veículos.

Em geral, nenhum tipo de lancil deve ser utilizado em plataformas de estradas onde sejam praticadas velocidades de circulação elevadas (não inferiores a 80 km/h), uma vez que essa utilização poderia ter graves consequências para um veículo descontrolado que neles embatesse, nomeadamente, a perda de contacto com o solo ou o seu capotamento.

As valetas, dispositivos de drenagem comuns, devem ser analisadas atentamente em termos de segurança. As valetas profundas ou com faces muito inclinadas podem originar desacelerações violentas do veículo, quando atingidas a alta velocidade ou com ângulos elevados. Uma vez que a maior parte dos acidentes com despiste ocorrem com ângulos relativamente pequenos, o talude fronteiro de uma valeta adjacente é o mais crítico e deve ser realizado tão plano quanto possível, idealmente com inclinações iguais ou inferiores a 1:5. Quando esta solução pode ser implementada, um talude posterior mais íngreme pode ser tolerado, desde que seja suave e desobstruído. Se existir uma elevada probabilidade de incursão de encontro a um talude fronteiro e a zona da estrada é limitada, pode ser justificável um sistema de drenagem fechado (por exemplo, com manilhas).

4.3.2.3 Vedações

Outro obstáculo linear importante é a vedação das estradas, e principalmente das auto-estradas e estradas expresso, cujo objectivo é o da restrição do acesso dos terrenos marginais à estrada, canalizando os movimentos de pessoas e animais, para segurança dos utentes e não utentes da estrada.

Fisicamente, uma vedação também constitui um obstáculo, uma vez que um veículo descontrolado pode ter uma trajectória que entre em rota de colisão com elementos dessa mesma vedação. Assim é necessário conceber vedações que minorem os danos causados aos ocupantes do veículo em caso de colisão [2].

4.3.2.4 Superfícies de água

Superfícies de água com uma profundidade de 0.6 metros ou mais, localizadas de forma a poderem ser alcançadas por um veículo descontrolado, devem ser consideradas como obstáculos perigosos, a tomar em conta na elaboração do projecto [119]. Há que ter em consideração, o período de tempo durante o qual o tráfego está exposto a este obstáculo perigoso e a sua localização em relação aos outros elementos da estrada tais como, curvas ou barreiras de tráfego.

Nestas situações, é necessária uma análise dos potenciais riscos que os condutores correm com a existência de áreas de água na zona livre de projecto e os benefícios que advêm da sua eliminação ou da sua colocação em outro local.

Segundo a norma de traçado da JAE [54], a presença de água ou de um muro de suporte, na base de um talude de aterro faz com que seja considerada uma inclinação do terreno natural de 10%.

Nesta norma, o cálculo da necessidade de barreiras de segurança tem em consideração a inclinação do talude, as características do traçado, as condições climáticas e a altura de aterro. No caso de haver água na base do muro de suporte, ou pela simples existência desse mesmo

muro, a altura de aterro a considerar sofre alterações, somando-se 8 h ou 5 h, respectivamente, sendo h a altura do muro de suporte.

4.3.2.5 Taludes

Por último, justifica-se uma referência aos taludes presentes na AAFR. Excepto em estradas urbanas, o pavimento costuma apresentar-se a uma cota diferente do terreno envolvente. Deste modo, é difícil manter o controlo ou reduzir a velocidade a um veículo que saia da faixa de rodagem. É pois fácil de compreender que os taludes menos inclinados contribuem eficazmente para uma maior segurança nas incursões pela área adjacente.

Esta matéria foi abordada de forma aprofundada no subcapítulo 4.2.5, cabendo aqui apenas referir uma vez mais que para que um talude seja considerado seguro, ou seja, para que não haja a necessidade de colocação de barreiras de segurança, é necessário que as suas características obedeçam a determinados critérios relacionados com a sua inclinação ou com a sua altura.

4.4 Prática actual

Este subcapítulo apresenta os resultados do estudo e revisão das metodologias e práticas (critérios de dimensionamento) correntes no que diz respeito ao projecto da AAFR em diversos países com particular incidência na União Europeia (UE) e nos Estados Unidos da América (EUA). O objectivo principal desta análise foi o conhecimento aprofundado do estado da arte nas referidas matérias.

A prática actualmente seguida nos diferentes países da UE assim como nos EUA, resulta – em grande parte dos casos – da aplicação dos conceitos anteriormente expostos.

Em França, em estradas novas, a largura recomendada da zona de recuperação em secção corrente é dada pelos valores definidos no Quadro 14:

Quadro 14 – Características da zona de recuperação em estradas novas em França
(adaptado de [90, 92]).

Tipo de estrada	Subtipo	Máxima velocidade permitida	Largura recomendada
Auto-estrada	Tráfego normal ⁵	130 (110) km/h	2.50 ou 3.00 m
	Tráfego moderado	130 (110) km/h	2.00 m
Estrada expresso		90 km/h	2.00 a 2.50 m
Estrada multifunções	Interurbana principal	90 (110) km/h	2.00 m
	Estrada com relevo difícil	90 km/h	2.00 (1.75) m
	Estruturas não correntes	90 km/h	0.75 a 1.50 m

Nas estradas existentes a criação de bermas com uma largura entre 1.75 e 2 metros é uma prioridade. Contudo, e sempre que os custos de alargamento da plataforma tornem essa solução inviável, podem ser adoptadas bermas mais estreitas, procurando sempre garantir-se um equilíbrio entre a faixa de rodagem e a berma. Por exemplo, para uma plataforma disponível de 8 a 9 metros, considera-se preferível reduzir a faixa de rodagem para 6 metros e assim permitir a existência de bermas com uma largura entre 1 e 1.5 metros.

No que respeita à zona de segurança, a sua largura recomendada em secção corrente (excepto em pontos específicos do traçado) é a apresentada no Quadro 15.

⁵ De acordo com o tráfego de veículos pesados, a largura recomendada é de 2.50 m ou de 3.00 m, nos consoante este tipo de tráfego é inferior ou excede os 2000 veículos/dia (em ambas as direcções).

Quadro 15 – Características da zona de segurança em estradas novas em França (adaptado de [90]).

Tipo de estrada	Subtipo	Máxima velocidade permitida	Largura recomendada	
			Nova estrada	Estrada existente
Auto-estrada	Tráfego normal	130 km/h	10.00 m	
		110 km/h	8.50 m	
	Tráfego moderado	130 km/h	10.00 m	
		110 km/h	8.50 m	
	Estrada com relevo difícil	90 km/h	7.00 m	
		90 km/h	7.00 m	
Estrada expresso		90 km/h	7.00 m	
Estrada multifunções	Interurbana principal	90 km/h	7.00 m	4.00 m
		110 km/h	8.50 m	
		90 km/h	7.00 m	

Na Holanda existem regras relativamente à largura da zona livre de obstáculos a considerar no dimensionamento da AAFR (ver Quadro 16 e Quadro 17), aplicáveis de forma específica a cada tipo de estrada. Esta zona, que se encontra definida no Quadro 1, dispõe de uma largura que foi determinada tendo por base o estudo de Schoon anteriormente referido [87], assim como estudos de outros países.

Quadro 16 – Largura da zona livre de obstáculos na Holanda (adaptado de [104]).

Tipo de estrada	Normal	Mínimo
Estradas rurais de acesso – 60 km/h	2.5 m	1.5 m
Estradas rurais distribuidoras – 80 km/h	6 m	4.5 m
Estradas de faixa de rodagem única – 100 km/h	10 m	8 m
Estradas de dupla faixa de rodagem – 100 km/h	10 m	-
Estradas de dupla faixa de rodagem – 120 km/h	13 m	10 m

Os objectos fixos que cedem após o choque sem absorção de energia, os amortecedores de choque, ou as barreiras de segurança são utilizados apenas nos casos em que os obstáculos não podem ser removidos. Em alternativa, uma estrada também poderá ser reclassificada,

por exemplo, através da transformação de uma estrada rural distribuidora numa estrada rural de acesso.

A já referida norma de traçado holandesa para auto-estradas, “Nieuwe Ontwerprichtlijn Autosnelwegen” [75], define a largura da zona livre de obstáculos a considerar neste tipo de infra-estrutura.

Quadro 17 – Largura da zona livre de obstáculos em auto-estradas na Holanda
(adaptado de [75]).

Velocidade de projecto	Largura 1	Largura 2	Largura 3
120 km/h	13 m	10 m	25 m
100 km/h	10 m	10 m	20 m
80 km/h	6 m	6 m	12 m
50 km/h	4.5 m	4.5 m	9 m

A Largura 1 corresponde à largura da zona livre para novas construções e remodelações profundas de auto-estradas. A Largura 2 corresponde à largura da zona livre para pequenas melhorias em auto-estradas. Por último a Largura 3 corresponde à largura da zona livre para os separadores centrais de auto-estradas.

De acordo com a norma holandesa [75], a zona livre de obstáculos deverá ter uma largura suficiente para que o condutor de um veículo que saia da faixa de rodagem, de forma descontrolada, possa recuperar o controlo dentro da referida zona. Esta largura baseia-se na pesquisa referida em 3.2, a qual demonstrou que – a cerca de 90 km/h – em 80 a 90 por cento dos casos é possível recuperar o controlo de uma viatura numa distância não superior a 10 metros do limite da faixa de rodagem.

De acordo com a mesma norma, ao aumento da velocidade de projeto em 10 km/h corresponde o aumento de, cerca de 1.5 metros, na distância percorrida transversalmente por um veículo descontrolado. Complementarmente, 35 por cento dos acidentes ocorrem na AAFR, sendo assim estabelecido o valor de 13 metros para a largura da zona livre em auto-estradas com velocidades de projecto de 120 km/h.

Para garantir a segurança de instalações sensíveis confinantes com a auto-estrada (como, por exemplo, vias férreas), a largura da zona livre é de 25 metros, distância idêntica à recomendada para separadores centrais sem barreira de segurança.

É ainda de destacar que, de acordo com esta norma, a largura da zona livre e a geometria da AAFR não têm influência na capacidade e nível de serviço da auto-estrada.

De acordo com a norma holandesa [75], os taludes não são considerados obstáculos perigosos sempre que (ver Figura 51):

- Um talude em aterro tenha uma inclinação inferior a 1V:6H;
- Um talude em aterro tenha uma inclinação inferior a 1V:3H e pontos de quebra⁶ com um raio de curvatura não inferior a 9 metros, e exista uma área no pé do talude disponível para utilização em segurança por parte de um veículo descontrolado;
- Um talude em escavação tenha uma inclinação inferior a 1V:2H e um ponto de quebra com um raio de curvatura não inferior a 6 metros;

Por último, um curso de água não é considerado um obstáculo desde que o talude fronteiro⁷ tenha uma inclinação inferior a 1V:3H e um ponto de quebra com um raio de curvatura de não inferior a 9 metros e o talude posterior⁸ tenha uma inclinação inferior a 1V:2H e um ponto de quebra com um raio de curvatura não inferior a 6 metros. Complementarmente, o curso de água não poderá ter uma profundidade superior a 1 metro.

⁶ Correspondem aos pontos de ligação de dois taludes contíguos. A introdução de uma curva vertical entre dois taludes contíguos minimiza a mudança abrupta de inclinação transversal e maximiza a manobrabilidade e a estabilidade de um veículo descontrolado.

⁷ A superfície de terreno inclinado entre o limite exterior da berma e a aresta interior da vala ou valeta adjacente (numa secção em escavação) ou o pé do talude (numa secção em aterro).

⁸ A superfície de terreno inclinado que se encontra entre a superfície inferior da vala ou valeta e a inclinação natural do solo adjacente

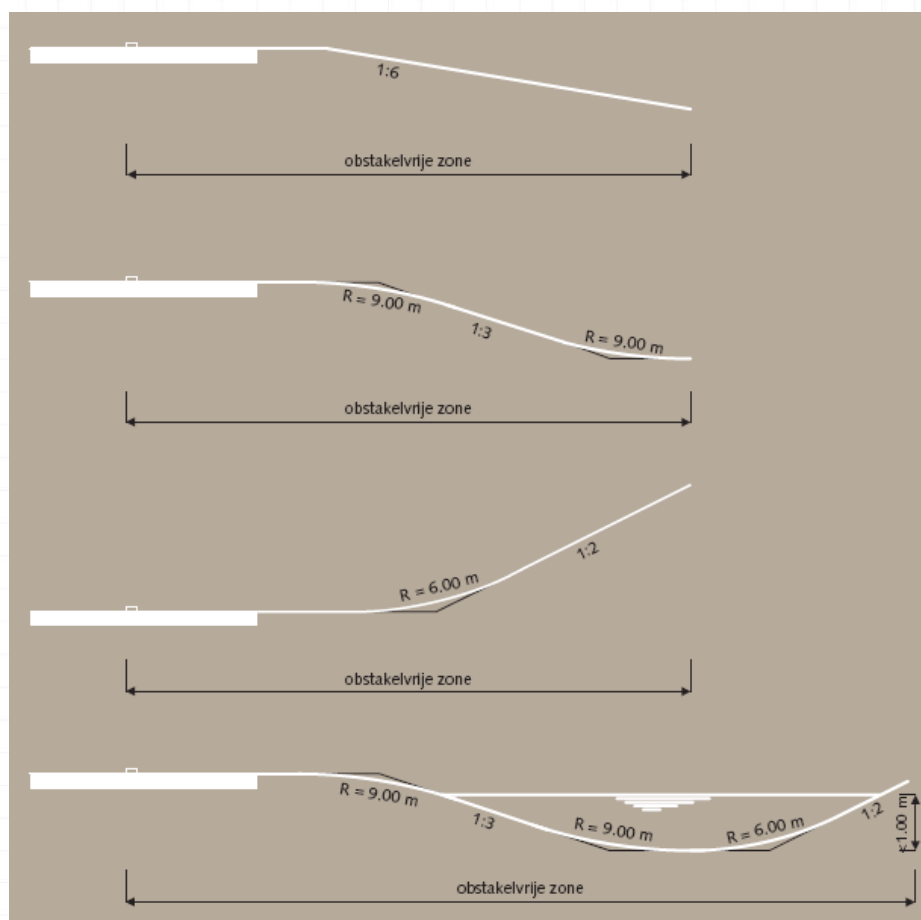


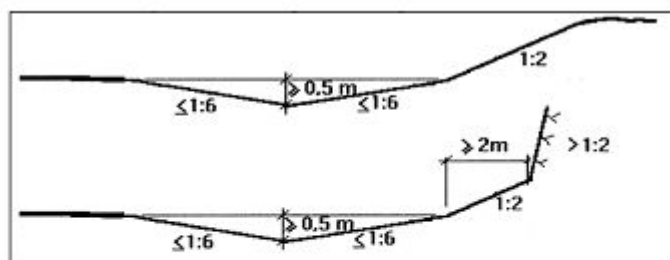
Figura 51 – Características da zona livre de obstáculos em auto-estradas na Holanda [75].

Na Suécia, como anteriormente referido, existem actualmente três tipos de configurações para a AAFR [117]:

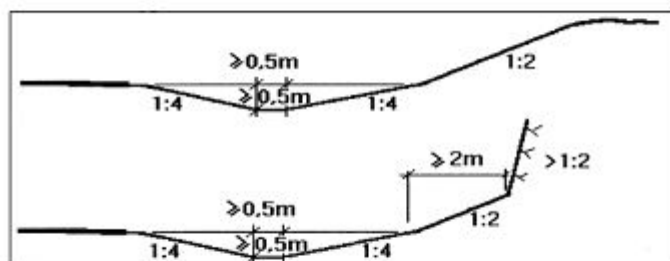
- Tipo A: com barreiras de segurança ou com amplas zonas de segurança com taludes suaves (com inclinações até 1V:6H), sem obstáculos perigosos numa largura de 10, 9 ou 6 metros consoante o limite de velocidade seja de 110, 90 ou 70 km/h respectivamente. Esta configuração requer a instalação de uma valeta revestida com dreno.
- Tipo B: igual à do tipo A mas com taludes de 1V:4H e igualmente com valeta revestida com dreno;
- Tipo C: com talude fronteiro com uma inclinação de 1V:3H e talude posterior com 1V:2H. Nesta solução, que corresponde à situação nas estradas ainda não remodeladas sob a óptica da Visão Zero, a drenagem é feita com recurso a valeta.

A referida norma contempla, como alternativa às características da AAFR anteriormente descritas, a utilização de barreiras de segurança em diversas situações, tais como zonas de floresta ou com obstáculos inamovíveis para fora da zona de segurança.

Tipo A



Tipo B



Tipo C

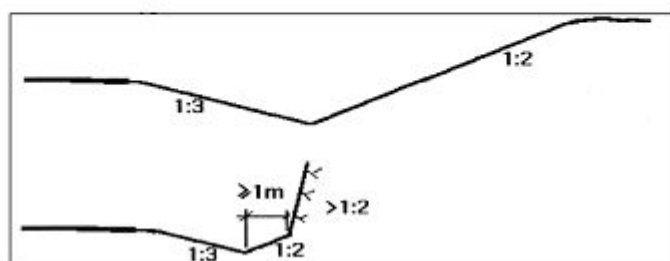


Figura 52 – Tipos de AAFR na Suécia (secção em escavação) (adaptado de [116]).

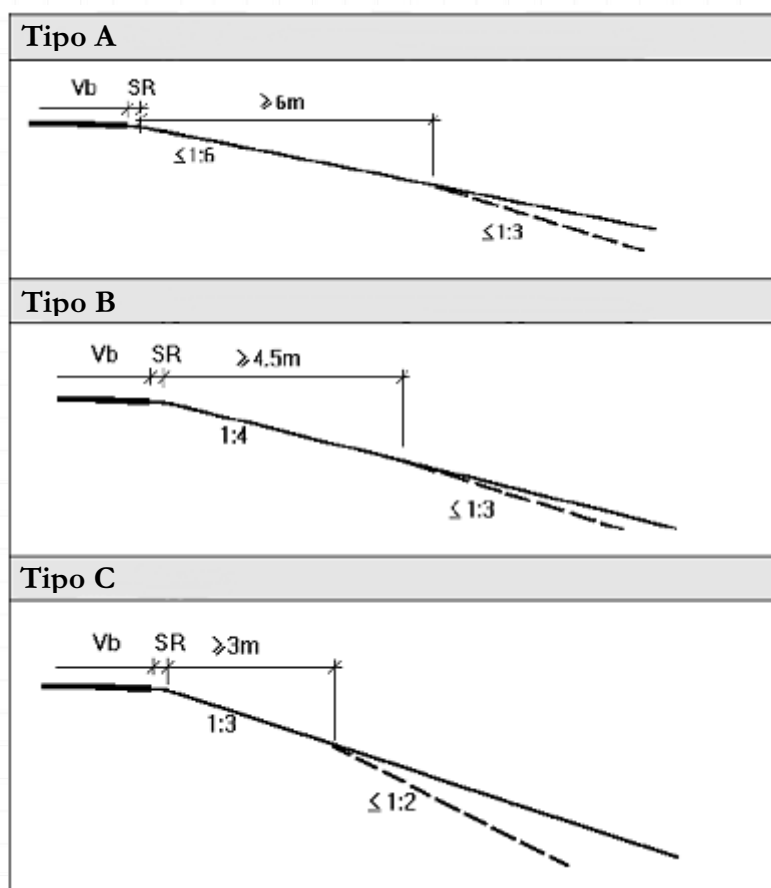


Figura 53 – Tipos de AAFR na Suécia (secção em aterro) (adaptado de [116]).

A escolha do tipo de AAFR e das características da zona livre pode ser efectuada segundo duas abordagens: a perspectiva da segurança do condutor e a perspectiva da eficiência em termos de custo-benefício. Em ambas as perspectivas a qualidade é definida em função do custo e da frequência de acidentes, como se pode observar no Quadro 18 e Quadro 19.

Quadro 18 – Critérios de selecção do tipo de AAFR na Suécia – perspectiva do condutor
(adaptado de [116] e [117]).

Limite de velocidade [km/h]	Qualidade		
	Alta	Média	Baixo
50	Tipo C; ZL > 3 m	Tipo C; ZL < 3 m	
70	Tipo B; ZL > 7 m	Tipo B; ZL > 3 m	Tipo C; ZL < 3 m
90	Tipo A; ZL > 9 m	Tipo B; ZL > 4,5 m	Tipo C; ZL < 4,5 m
110	Tipo A; > ZL 10 m	Tipo B; ZL > 6 m	Tipo C; ZL < 6 m

ZL – zona livre.

Quadro 19 – Critérios de selecção do tipo de AAFR na Suécia – eficiência
(adaptado de [116] e [117]).

Limite de velocidade [km/h]	Tipo de estrada	Custos e frequência de acidentes (eficiência)
70	Estrada rural com 2+1 vias	A se TMDA >9000 ou B se TMDA >5000 com 7 m e 3 m respectivamente.
	Estrada rural com 2 vias	A se TMDA >7000 ou B se TMDA >4000 com 7 m e 3 m respectivamente.
90	Auto-estrada	Sempre A e 9 m em novas construções
	Estrada rural com 2+1 vias	A se TMDA >4000 ou B se TMDA >2500 com 9 m e 4 m respectivamente.
	Estrada rural com 2 vias	A se TMDA >3000 ou B se TMDA >2000 com 9 m e 4 m respectivamente.
110	Auto-estrada	Sempre A e 10 m em novas construções
	Estrada rural com 2+1 vias	A se TMDA >2 500 ou B se TMDA >1 000 com 10 m e 6 m respectivamente.
	Estrada rural com 2 vias	A se TMDA >2 000 ou B se TMDA >1 000 com 10 m e 6 m respectivamente.

A referida norma (VU 94) permite a existência de obstáculos (isolados ou contínuos) dentro da zona de segurança, a uma distância ao limite da faixa de rodagem não inferior à descrita no Quadro 20, em função da composição do tráfego e do limite de velocidade. Apenas são considerados trechos com taludes com inclinações menores ou iguais a 1V:3H. No extradorso de curvas cujo raio seja inferior a uma vez e meia o raio mínimo previsto deve ainda adicionar-se 1 m às distâncias apresentadas no Quadro 20.

Quadro 20 – Distância mínima (m) a obstáculo fixo sem barreira de segurança (secção de escavação em maciço rochoso) (adaptado de [116] e [117]).

TMDA	V = 70 km/h		V = 90 km/h		V = 110 km/h	
	Obstáculo isolado	Obstáculo contínuo	Obstáculo isolado	Obstáculo contínuo	Obstáculo isolado	Obstáculo contínuo
0-1000	2	3	3	4,5	4	6
1000-2000	2	3	3	4,5	5	6
2000-3000	2	3	3	4,5	6	10
3000-4000	2	3	4,5	9	6	10
4000-7000	3	4,5	4,5	9	6	10
≥7000	4,5	7	6	9	9	10

A altura máxima dos taludes de aterro e a distância mínima a precipícios (com altura entre 1,5 e 3 m) ou cursos de água com profundidades superiores a 1 m, dependem do TMDA, do limite de velocidade e da inclinação dos taludes e encontram-se tabelados no Quadro 21.

Quadro 21 – Altura máxima de aterro e a distância mínima a precipícios (adaptado de [116] e [117]).

TMDA	V = 70 km/h				V = 90 km/h				V = 110 km/h			
	1:2	1:3	1:4	P*	1:2	1:3	1:4	P*	1:2	1:3	1:4	P*
0-1000	4	12	15	3	1,5	6	8	5	X	3	5	7
1000-3000	3	10	13	5	X	4	7	7	X	2	4	8
3000-5000	2	8	11	6	X	3,5	6	8	X	2	3	9
≥ 5000	1	7	10	7	X	3	6	9	X	2	3	10

* Precipícios

No âmbito do projecto de investigação europeu “SAFESTAR – Safety Standards for Road Design and Redesign” [86] (concluído em 1998) e tendo por base um estudo elaborado por Schoon [87], foram comparados os requisitos de diversos países da União Europeia quanto à largura da zona livre, sendo possível chegar a algumas conclusões acerca da largura mínima da zona livre necessária para não ser obrigatória a instalação de uma guarda de segurança, em 13 dos estados membros analisados.

O valor médio da referida largura situa-se entre 6 e 7 metros para auto-estradas e entre 4 e 5 metros para estradas expresso. É de realçar que em quatro países as larguras são iguais ou superiores a 10 metros. Em Portugal estes valores cifram-se em 3.5 metros quer para auto-estradas quer para estradas expresso. Portugal era, assim, o único país, em termos de largura da zona livre de obstáculos em auto-estradas, com um valor abaixo dos 4 metros e um dos três países com o valor mais baixo em estradas expresso, ao nível europeu.

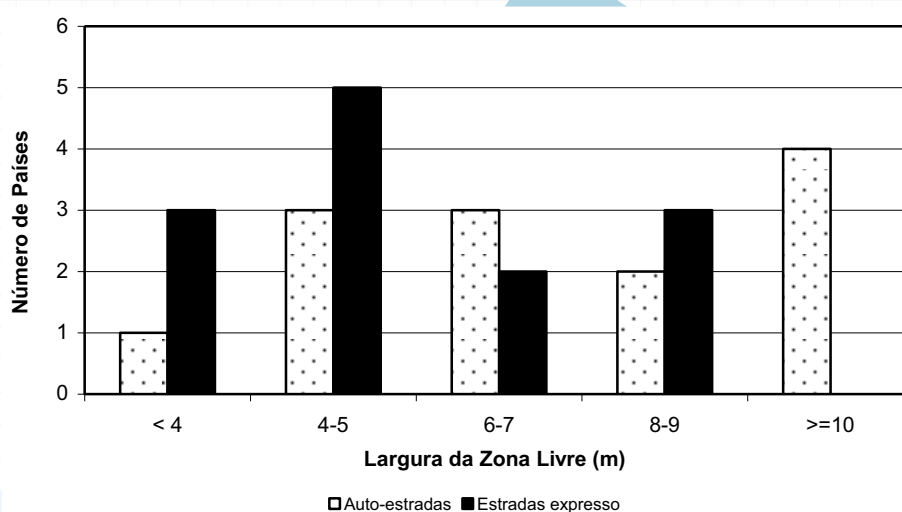


Figura 54 – Distribuição dos países com uma determinada largura para a zona livre de obstáculos para auto-estradas e estradas expresso de acordo com normas.

A lista das larguras da zona livre de obstáculos na Europa aqui apresentada no Quadro 22, é baseada nas respostas dadas num questionário do projecto SAFESTAR atrás referido, à questão “Qual é a largura da zona livre de obstáculos, se não houver necessidade de uma guarda de segurança?”.

Quadro 22 – Largura da zona livre de obstáculos na Europa (adaptado de [86]).

Largura da zona livre de obstáculos		
(em metro, a contar a partir da extremidade da faixa de rodagem)		
País	Auto-estradas	Estradas expresso
Bélgica	4.5	3.75
República Checa	4.5	4.5
Dinamarca	9	3 (9 se $v \geq 90$ km/h)
Alemanha	6 (10 em zonas perigosas)	4.5 (7.5 em zonas perigosas)
Grécia	9 (19 junto a caminhos de ferro)	9 (19 junto a caminhos de ferro)
Finlândia	7	5.5 - 6.5
França	10	8.5
Holanda	10 (se $v = 120$ km/h; 13)	6
Noruega	6 (se TMD ≥ 15.000)	5 (se TMD é elevado)
Portugal	3.5	3.5
Suécia	10 (se $v = 110$ km/h)	10 (se $v = 110$ km/h)
	9 (se $v = 90$ km/h)	9 (se $v = 90$ km/h)
	7 (se $v = 70$ km/h)	7 (se $v = 70$ km/h)
Suiça	12.5	5
Reino Unido	4.5	4.5

v – limite de velocidade imposto por sinalização vertical

Por último nos EUA, o “*Roadside Design Guide*” [4] ilustra através de uma figura e de um quadro o método a utilizar na determinação das larguras de zona livre para diversos conjuntos de valores de velocidade e de volumes de tráfego (ver Figura 55 e Quadro 23). É, no entanto, realçado que os valores constantes na figura e no quadro são valores aproximados. As curvas apresentadas na Figura 55 baseiam-se em dados empíricos limitados, os quais foram, nalguns casos, extrapolados para ser possível fornecer informação para um conjunto mais vasto de condições. Os valores apresentados são assim valores médios indicativos e não valores absolutos a seguir rigidamente.

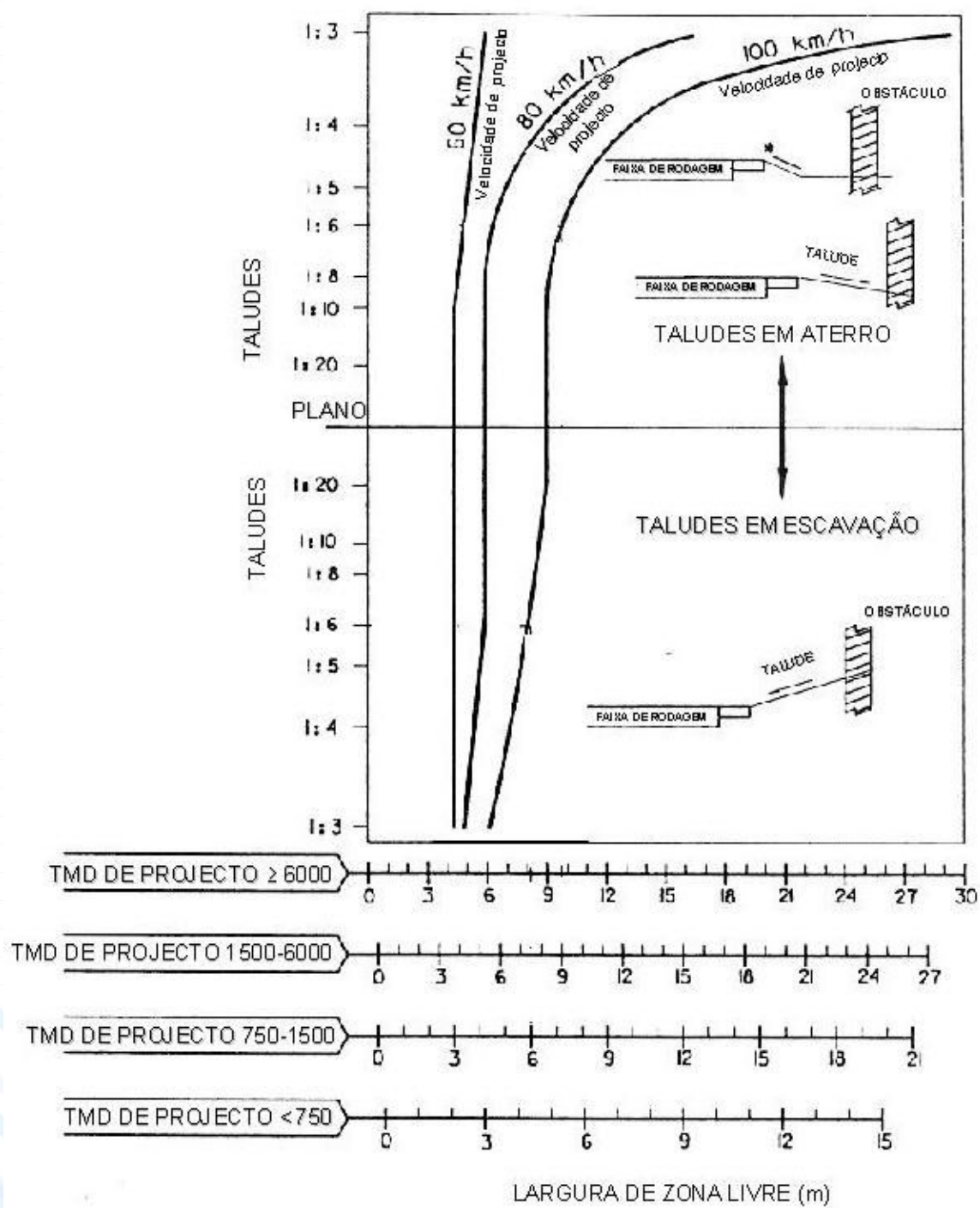


Figura 55 – Largura da zona livre (adaptado de [4]).

De acordo com as referidas recomendações norte-americanas, a homogeneidade do traçado e a frequência de acidentes do local têm igualmente importância para a determinação da largura de zona livre a aplicar em cada caso concreto.

Isto é, uma largura de zona livre inferior à definida no Quadro 23 para um determinado talude, pode ser aceitável se essa largura se prolongar por uma parte significativa do traçado ou se não existirem relatos de acidentes nesse local. O contrário também pode suceder, a largura de zona livre existente pode corresponder ao aconselhado no Quadro 23 e, no entanto, devido à acumulação de acidentes nesse local ou devido ao facto de a zona circundante ter uma largura de zona livre superior, pode ser necessário aumentar essa mesma largura. Importa, pois, salientar que, de acordo com as mesmas recomendações a análise a fazer a uma situação concreta deve incluir a totalidade do traçado e os dados relativos à sinistralidade.

Ainda de acordo com o *Roadside Design Guide* [4], deverá modificar-se a largura de zona livre, obtida a partir da Figura 55 ou do Quadro 23, no caso de curvaturas horizontais utilizando o Quadro 24, para atender à maior probabilidade de despiste.

O cálculo da largura da zona livre no exterior da curva é então feito recorrendo à seguinte equação:

$$CZ_c = L_c \times K_{cz} \quad (4-6)$$

Em que:

- CZ_c = largura da zona livre no exterior da curva [m]
- L_c = largura de zona livre, Figura 55 ou Quadro 23
- K_{cz} = factor de correcção em curva, Quadro 24

Importa salientar que o factor de correcção em curva é unicamente aplicado ao exterior das curvas. Curvas com raios superiores a 900 m não necessitam de ajustamento no valor de zona livre.

Quadro 23 – Largura da zona livre (adaptado de [4]).

Velocidade de Projecto [km/h]	TMD de Projecto [veículos]	Inclinação do talude em aterro			Inclinação do talude em escavação		
		1:6 ou menos inclinado	1:5 a 1:4	1:3	1:3	1:5 a 1:4	1:6 ou menos inclinado
60 ou menos	≤ 750	2.0 – 3.0	2.0 – 3.0	**	2.0 – 3.0	2.0 – 3.0	2.0 – 3.0
	750-1500	3.0 – 3.5	3.5 – 4.5	**	3.0 – 3.5	3.0 – 3.5	3.0 – 3.5
	1500-6000	3.5 – 4.5	4.5 – 5.0	**	3.5 – 4.5	3.5 – 4.5	3.5 – 4.5
	> 6000	4.5 – 5.0	5.0 – 5.5	**	4.5 – 5.0	4.5 – 5.0	4.5 – 5.0
70 – 80	≤ 750	3.0 – 3.5	3.5 – 4.5	**	2.5 – 3.0	2.5 – 3.0	3.0 – 3.5
	750-1500	4.5 – 5.0	5.0 – 6.0	**	3.0 – 3.5	3.5 – 4.5	4.5 – 5.0
	1500-6000	5.0 – 5.5	6.0 – 8.0	**	3.5 – 4.5	4.5 – 5.0	5.0 – 5.5
	> 6000	5.5 – 6.0	7.5 – 8.5	**	4.5 – 5.0	5.5 – 6.0	6.0 – 6.5
90	≤ 750	3.5 – 4.5	4.5 – 5.5	**	2.5 – 3.0	3.0 – 3.5	3.0 – 3.5
	750-1500	5.0 – 5.5	6.0 – 7.5	**	3.0 – 3.5	4.5 – 5.0	5.0 – 5.5
	1500-6000	6.0 – 6.5	7.5 – 9.0	**	4.5 – 5.0	5.0 – 5.5	6.0 – 6.5
	> 6000	6.5 – 7.5	8.0 – 10.0*	**	5.0 – 5.5	6.0 – 6.5	6.5 – 7.5
100	≤ 750	5.0 – 5.5	6.0 – 7.5	**	3.0 – 3.5	3.5 – 4.5	4.5 – 5.0
	750-1500	6.0 – 7.5	8.0 – 10.0*	**	3.5 – 4.5	5.0 – 5.5	6.0 – 6.5
	1500-6000	8.0 – 9.0	10.0 – 12.0*	**	4.5 – 5.5	5.5 – 6.5	7.5 – 8.0
	> 6000	9.0 – 10.0*	11.0 – 13.5*	**	6.0 – 6.5	7.5 – 8.0	8.0 – 8.5
110	≤ 750	5.5 – 6.0	6.0 – 8.0	**	3.0 – 3.5	4.5 – 5.0	4.5 – 4.9
	750-1500	7.5 – 8.0	8.5 – 11.0*	**	3.5 – 5.0	5.5 – 6.0	6.0 – 6.5
	1500-6000	8.5 – 10.0*	10.5 – 13.0*	**	5.0 – 6.0	6.5 – 7.5	8.0 – 8.5
	> 6000	9.0 – 10.5*	11.5 – 14.0*	**	6.5 – 7.5	8.0 – 9.0	8.5 – 9.0

* Nos casos específicos em que a análise do local ou os dados históricos indiquem uma elevada probabilidade de acidentes devem ser atribuídas larguras de zona livre superiores a 9 metros. As zonas livres podem ser limitadas a 9 metros por motivos práticos ou de homogeneidade do perfil transversal no caso da experiência com projectos similares indicar desempenhos satisfatórios.

** Uma vez que a recuperação é menos provável nos taludes sem barreiras de segurança e atravessáveis de 1:3, não devem existir objectos fixos nas proximidades do pé destes taludes. A recuperação de veículos, a circular a alta velocidade, que façam uma incursão pela área adjacente à plataforma, é prevista para além do pé do talude. A determinação da largura da área de recuperação no pé do talude deve ter em consideração a disponibilidade de zona da estrada, preocupações ambientais, factores económicos, necessidades de segurança e dados históricos de acidentes. Adicionalmente, a distância entre o limite da faixa de rodagem e o início do talude de 1:3 deve influenciar a área de recuperação fornecida no pé do talude. Sendo a aplicabilidade limitada por diversos factores, os parâmetros para secções em aterro que podem ser considerados no cálculo da área de recuperação máxima desejável estão ilustrados na Figura 55.

Quadro 24 – Ajustamentos relativos a curvas em planta (adaptado de [4]).

Raio (m)	Velocidade de Projecto					
	60	70	80	90	100	110
900	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2
700	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3
600	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4
500	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4
450	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5
400	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	
350	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	
300	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	
250	1.3	1.3	1.4	1.5		
200	1.3	1.4	1.5			
150	1.4	1.5				
100	1.5					

Tomando como exemplo o documento normativo do Estado de Washington, *Design Manual*. [119], que tem por base o *Roadside Design Guide* [4], verifica-se que os valores de largura da zona livre de projecto ilustrados no Quadro 25 são utilizados para avaliar as características das zonas livres existentes, para estabelecer valores mínimos para o projecto de estradas, e ainda para determinar a localização permissível para eventuais obstáculos perigosos naquilo, que, de outra maneira, seria um talude recuperável⁹.

É de realçar que os valores expressos no Quadro 25 não servem para justificar a diminuição da largura das zonas livres já existentes.

⁹ Talude cuja inclinação permite ao condutor de um veículo descontrolado efectuar uma manobra controlada. Taludes com inclinações iguais ou inferiores a 1V:4H são considerados recuperáveis.

Quadro 25 – Largura da zona livre de projecto (adaptado de [119]).

Largura da Zona livre (em metro, a contar a partir da extremidade da faixa de rodagem)													
Limite de velocidade**	Tráfego Médio Diário	Talude em escavação						Talude em aterro					
		Inclinação (V:H)						Inclinação (V:H)					
[km/h]	[veículos]	1:3	1:4	1:5	1:6	1:8	1:10	1:3	1:4	1:5	1:6	1:8	1:10
≤ 56		A largura de zona livre é estabelecida a 3.0 metros (ou 0.5 metros para além da face do lancil em áreas urbanas)											
64	≤ 250	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	*	4.0	3.7	3.4	3.4	3.0
	251-800	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	*	4.3	4.3	4.0	3.7	3.4
	801-2000	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	*	4.9	4.6	4.3	4.0	3.7
	2001-6000	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	*	5.2	5.2	4.9	4.6	4.3
	> 6000	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	*	5.8	5.5	5.2	4.9	4.6
72	≤ 250	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	*	4.9	4.3	4.0	3.7	3.4
	251-800	3.7	3.7	4.0	4.0	4.0	4.0	*	5.5	4.9	4.3	4.3	4.0
	801-2000	4.0	4.0	4.3	4.3	4.3	4.3	*	6.1	5.2	4.9	4.6	4.3
	2001-6000	4.6	4.6	4.9	4.9	4.9	4.9	*	6.7	5.8	5.2	5.2	4.9
	> 6000	4.9	4.9	5.2	5.2	5.2	5.2	*	7.3	6.4	5.8	5.5	5.2
80	≤ 250	3.4	3.7	4.0	4.0	4.0	4.0	*	5.8	4.9	4.6	4.0	4.0
	251-800	4.0	4.3	4.3	4.6	4.6	4.6	*	6.7	5.5	5.2	4.6	4.6
	801-2000	4.3	4.6	4.9	5.2	5.2	5.2	*	7.3	6.1	5.5	5.2	5.2
	2001-6000	4.9	5.2	5.2	5.5	5.5	5.5	*	8.2	6.7	6.1	5.5	5.5
	> 6000	5.2	5.5	5.8	6.1	6.1	6.1	*	8.8	7.3	6.7	6.1	6.1
89	≤ 250	3.7	4.3	4.6	4.9	4.9	5.2	*	7.6	6.4	5.8	5.2	5.2
	251-800	4.3	4.9	5.2	5.5	5.5	5.8	*	8.5	7.0	6.4	6.1	5.8
	801-2000	4.6	5.2	5.8	6.1	6.1	6.4	*	9.4	7.9	7.0	6.7	6.4
	2001-6000	5.2	5.8	6.4	6.7	6.7	7.0	*	10.4	8.8	7.9	7.3	7.0
	> 6000	5.5	6.4	7.0	7.3	7.3	7.6	*	11.3	9.4	8.5	7.9	7.6
97	≤ 250	4.0	4.9	5.2	5.5	5.8	5.8	*	9.1	7.6	7.0	6.4	6.1
	251-800	4.6	5.5	6.1	6.1	6.4	6.7	*	10.4	8.5	7.9	7.0	7.0
	801-2000	5.2	6.1	6.7	6.7	7.0	7.3	*	11.3	9.4	8.5	7.9	7.6
	2001-6000	5.5	6.7	7.3	7.6	7.9	8.2	*	12.5	10.4	9.4	8.8	8.5
	> 6000	6.1	7.3	7.9	8.2	8.5	8.8	*	13.7	11.3	10.4	9.4	9.1
105	≤ 250	4.6	5.5	5.8	6.1	6.4	6.4	*	10.1	8.2	7.6	7.0	6.7
	251-800	5.2	6.1	6.7	6.7	7.3	7.3	*	11.6	9.4	8.8	7.9	7.6
	801-2000	5.8	6.7	7.3	7.6	7.9	8.2	*	12.5	10.4	9.4	8.8	8.5
	2001-6000	6.1	7.6	8.2	8.2	8.8	9.1	*	14.0	11.3	10.7	9.8	9.4
	> 6000	6.7	8.2	8.8	9.1	9.4	9.8	*	15.2	12.5	11.6	10.4	10.1
113	≤ 250	4.9	5.8	6.4	6.4	7.0	7.0	*	11.0	8.8	8.2	7.6	7.3
	251-800	5.5	6.7	7.0	7.3	7.9	7.9	*	12.5	10.1	9.4	8.5	8.2
	801-2000	6.1	7.3	7.9	8.2	8.5	8.8	*	13.7	11.3	10.4	9.4	9.1
	2001-6000	6.7	8.2	8.8	8.8	9.4	9.8	*	15.2	12.2	11.6	10.4	10.1
	> 6000	7.3	8.8	9.4	9.8	10.4	10.7	*	16.5	13.4	12.5	11.3	11.0

* Quando a secção em aterro é mais íngreme do que 1V:4H, mas não menos que 1V:3H, a largura da zona livre é modificada pela fórmula da área de recuperação (conforme explicitado adiante) e é atribuída como a área de recuperação.

A filosofia de base que está por trás da fórmula de cálculo da largura da área de recuperação é a de que um veículo pode atravessar estes taludes, mas não pode recuperar (o controlo da viatura) e consequentemente, a largura destes taludes é adicionada à largura da zona livre para formar a área de recuperação.

** Limite de velocidade imposto por limite geral ou sinalização vertical, expresso em km/h.

De acordo com o *Design Manual* [119], para secções em aterro, a determinação da largura da zona livre de projecto é feita pelos seguintes critérios:

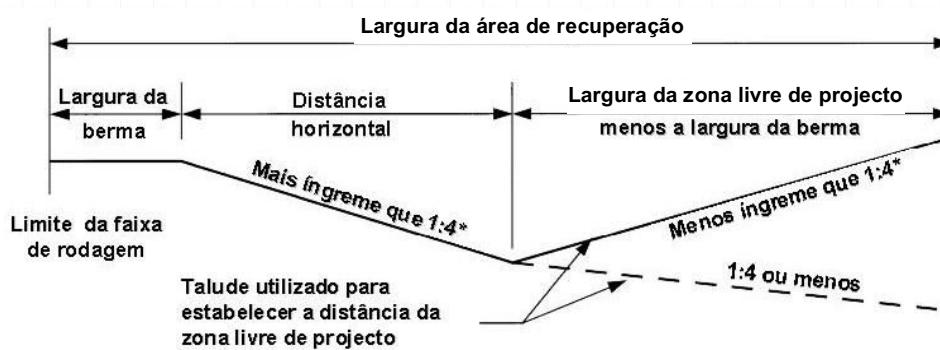
- (a) Para secções com taludes fronteiros de 1V:4H ou menos íngremes, a zona livre de projecto é o máximo de:
 - 1. A largura da zona livre de projecto equivalente à de uma secção em escavação de 1V:10H, baseada na mesma velocidade e idêntico tráfego médio diário, ou
 - 2. Uma distância horizontal de 1.5 metros para além do início do talude posterior.
- (b) Para secções com taludes fronteiros mais íngremes do que 1V:4H e taludes posteriores mais íngremes que 1V:3H, a largura da zona livre de projecto é de horizontalmente 3 metros para além do início do talude posterior.
- (c) Para secções com taludes fronteiros mais íngremes do que 1V:4H e taludes posteriores de 1V:3H ou menos, a largura da zona livre de projecto é estabelecida utilizando a fórmula da área de recuperação (ver (4-7)).

A dimensão da largura da zona livre de projecto depende do limite de velocidade imposto por sinalização vertical, da inclinação do talude e do volume de tráfego. No Quadro 25 não existem valores para taludes em aterro com uma inclinação de 1V:3H. De acordo com a definição, os taludes com uma inclinação entre 1V:3H e 1V:4H são considerados irrecuperáveis¹⁰, sendo, no entanto, atravessáveis se estiverem livres de objectos fixos. Um veículo descontrolado que inicie a sua recuperação na berma, só a pode continuar numa área mais plana (1V:4H ou menos íngreme) no pé do talude. Nestas condições a zona livre de projecto dá-se o nome de área de recuperação (ver Figura 56).

Para o cálculo da largura desta área utiliza-se a seguinte fórmula:

$$\text{Largura da área de recuperação} = (\text{largura da berma}) + (\text{distância horizontal}) + (\text{largura da zona livre de projecto} - \text{largura da berma}) \quad (4-7)$$

¹⁰ Talude cuja inclinação faz com que um veículo descontrolado que nele tenha de circular, continue a fazê-lo até atingir o fundo, sem ter a possibilidade efectuar uma manobra controlada. Taludes com inclinações inferiores a 1V:4H, mas não superiores a 1V:3H, são considerados irrecuperáveis.



* A área de recuperação aplica-se normalmente a taludes mais íngremes do que 1:4 mas menos do que 1:3. Para taludes mais íngremes a fórmula da área de recuperação pode ser utilizada como orientação, no caso de a altura de aterro ser menor ou igual a 3.0 metros.

Figura 56 – Largura da área de recuperação (adaptado de [119]).

No Quadro 26 apresentam-se exemplos dos valores da largura mínima da zona livre adoptados em diversos países do mundo.

Quadro 26 – Largura da zona livre (m) (adaptado de [45] e [77]).

País	Largura da zona livre (m)	Comentários
Alemanha	6	Em auto-estradas (10 m em “zonas perigosas”)
	4.5	Em estradas expresso (7.5 m em “zonas perigosas”)
Bélgica	4.5	Em auto-estradas
	3.75	Em estradas expresso
Dinamarca	9	Em auto-estradas e estradas expresso com velocidade de operação ≥ 90 km/h
	3	Em estradas expresso com velocidade de operação < 90 km/h
Espanha	2.5	Em estradas de dupla faixa de rodagem ou faixa de rodagem única e limite de velocidade superior ou igual a 60 km/h
	1.5	Em estradas de faixa de rodagem única e limite de velocidade inferior a 60 km/h
EUA	9	Para limites de velocidade de 120 km/h
Finlândia	7	Em auto-estradas
	5	Em estradas expresso
França	10	Em auto-estradas
	8.5	Em estradas expresso
Grécia	9	Em auto-estradas e estradas expresso (19 m perto de vias férreas)
	13	Para velocidade de operação = 120 km/h
Holanda	10	Em auto-estradas com velocidade de operação < 120 km/h
	6	Em estradas expresso
Hungria	2.5	-
Irlanda	10	Para estradas com velocidade de projecto de 120 km/h
Japão	11.5	Estradas arteriais principais de 4 vias (em zonas urbanas com bom ambiente residencial)
	7.5	Estradas arteriais de 4 vias (em zonas urbanas com bom ambiente residencial)
	6.5	Estradas arteriais principais de 4 vias (em outras zonas urbanas)
	5	Estradas arteriais de 4 vias (em outras zonas urbanas)
	5	Estradas colectoras de 2 vias (em zonas urbanas)
Noruega	6	Se o TMDA $\geq 15,000$
	5	Em estradas expresso se o TMDA for “elevado”
Polónia	3.5	-
Portugal	3.5	Em auto-estradas e estradas expresso
Reino Unido	4.5	Em estradas de dupla faixa de rodagem ou faixa de rodagem única e limite de velocidade superior a 80 km/h
	3.5	Em estradas de faixa de rodagem única e limite de velocidade até 80 km/h
República Checa	4.5	Em auto-estradas e estradas expresso
Suécia	10	Para velocidade de operação = 110 km/h
	9	Para velocidade de operação = 90 km/h
	7	Para velocidade de operação = 70 km/h
Suíça	12.5	Em auto-estradas
	5	Em estradas expresso

Por último, apresentam-se no Quadro 27 os valores limites de inclinação de taludes, preconizados em diversas normas internacionais.

Quadro 27 – Valores limites de inclinação de taludes em zonas de aterro (adaptado de [71]).

País	Classificação da Estrada		
	Auto-estradas	Principal	Secundária
África do Sul		rural 1:4	
Alemanha	1:1.5	1:1.5	1:1.5
Austrália		$\leq 1:6$ se $\Delta h < 10$ m 1:1.5 a 1:2 se $\Delta h \geq 10$ m	
Canadá		colectora 1:2 a 1:6	rural 1:2 a 1:3
China	1:1 a 1:1.75	1:1 a 1:1.75	1:1 a 1:1.76
Dinamarca	1:2	1:2	1:2
EUA	1:6 para aterros de altura baixa, 1:3 para altura moderada	1:6 para aterros de altura baixa, 1:3 para altura moderada	Máximo 1:2
Espanha	1:6 a 1:2	1:4 a 2:3	2:3 a 1:2
França	baseado no projecto geotécnico	Baseado no projecto geotécnico	baseado no projecto geotécnico
Grécia	2:3	2:3	2:3
Holanda	1:2 a 1:3	1:2 a 1:3	1:2 a 1:3
Hungria	1:2 a 1:2.5	1:1.5 a 1:2.5	1:1.5
Japão	1:1.5 a 1:2	1:1.5 a 1:2	1:1.5 a 1:2
Jugoslávia	Varia com a guarda e com a altura de aterro	varia com a guarda e com a altura de aterro	varia com a guarda e com a altura de aterro
Polónia	1:5 a 1:3	1:5 a 1:3	1:5 a 1:3
Portugal	Baseado no projecto geotécnico; máx 1:1.5 sem guarda	baseado no projecto geotécnico; máx 1:1.5 sem guarda	baseado no projecto geotécnico; máx 1:1.5 sem guarda
Reino Unido	Baseado no projecto geotécnico, 1:2 é comum	baseado no projecto geotécnico, 1:2 é comum	baseado no projecto geotécnico, 1:2 é comum
Répubblica Checa	1:2.5 se $\Delta h < 3.0$ m 1:1.5 se $\Delta h \geq 3.0$ m	1:2.5 se $\Delta h < 3.0$ m 1:1.5 se $\Delta h \geq 3.0$ m	1:2.5 se $\Delta h < 3.0$ m 1:1.5 se $\Delta h \geq 3.0$ m
Suécia		1:3	
Suíça	1:2 a 2:3 1:3 e $\Delta h > 4$ m	1:2 a 2:3	1:2 a 2:3
Venezuela	não especificado, normalmente baseado no projecto geotécnico	não especificado, normalmente baseado no projecto geotécnico	não especificado, normalmente baseado no projecto geotécnico

Δh - altura de aterro

5 CARACTERÍSTICAS DA AAFR PRECONIZADAS PARA ESTRADAS PORTUGUESAS

5.1 Largura da Zona Livre

Tendo por base os princípios de dimensionamento teóricos da AAFR, relativos quer ao comportamento do veículo quer aos seus ocupantes (descritos em 4.1), assim como a observação de incursões de veículos descontrolados na AAFR (ver 4.2), a partir da qual é possível utilizar-se como critério a distância, medida desde o limite da faixa de rodagem, aos obstáculos perigosos atingidos por esses veículos, foram estabelecidas larguras de zona livre para estradas da RRN.

Na Europa, na maioria dos casos, a largura da zona livre situa-se entre 6 e 10 m para velocidades de circulação de 100 km/h. Verifica-se ainda que, para velocidades menores a largura da zona livre também é menor, situando-se entre 4.5 e 7 m para estradas com velocidades de 80 km/h. Os valores obtidos são compatíveis com os preconizados no âmbito do projecto de investigação europeu “SAFESTAR – Safety Standards for Road Design and Redesign” [86], já referido anteriormente.

Em qualquer dos casos, os princípios para o dimensionamento adequado da zona livre são:

- A mitigação das consequências de um despiste;
- A concepção de uma AAFR cuja largura permita que a maioria dos veículos que saem da estrada não saia da zona livre;
- A existência de taludes que não causem o capotamento (taludes com inclinação superior a 1V:3H não devem ser considerados como parte integrante da zona livre, pelo que se preconiza a sua protecção com barreira de segurança sempre que a altura do talude de aterro seja superior a 3 metros);
- A não existência de obstáculos perigosos sem protecção para os ocupantes de um veículo descontrolado.

Deve assegurar-se que na zona livre apenas existam suportes frágeis que cedam facilmente quando atingidos por um veículo descontrolado, de modo a reduzir significativamente a gravidade das colisões com estes dispositivos. Nos casos em que esta solução seja inviável, deve considerar-se a introdução de um sistema adequado de retenção de veículos.

Para as estradas da RRN preconizam-se as larguras de zona livre constantes no Quadro 28.

Quadro 28 – Largura da zona livre de obstáculos

Tipo de Estrada – Limite de velocidade	Largura [m]
Estradas rurais– 50 km/h	2.5
Estradas rurais – 90 km/h	8
Estradas de faixa de rodagem única – 100 km/h	10
Estradas de dupla faixa de rodagem – 100 km/h	10
Estradas de dupla faixa de rodagem – 120 km/h	13

Os taludes em aterro com inclinação igual a 1V:3H deverão dispor de pontos de quebra¹¹ com um raio de curvatura não inferior a 9 metros, e uma área no pé do talude disponível para utilização em segurança por parte de um veículo descontrolado.

No caso de remodelação de estrada em operação, a zona livre deverá ser dimensionada para as condições da estrada em análise atendendo aos valores do Quadro 28 e às características da sinistralidade no trecho.

5.2 Obstáculos perigosos

A estratégia geral a ser aplicada relativamente aos obstáculos perigosos presentes na AAFR consiste nos passos seguintes:

1. Avaliação do obstáculo perigoso;
2. Remoção, sempre que possível, do obstáculo perigoso para fora da zona livre;

¹¹ Correspondem aos pontos de ligação de dois taludes contíguos. A introdução de uma curva vertical entre dois taludes contíguos minimiza a mudança abrupta de inclinação transversal e maximiza a manobrabilidade e a estabilidade de um veículo descontrolado.

3. Avaliação da possibilidade de modificação do obstáculo perigoso, tornando-o atravessável;
4. Quando nenhum dos três tipos de soluções anteriores for viável, preconiza-se a protecção do tráfego com um sistema de retenção de veículos dimensionado de acordo com as *Recomendações para a selecção de selecção e colocação dos sistemas de retenção em estradas da RRN* [84]

O Quadro 29 (para obstáculos pontuais) e o Quadro 30 (para obstáculos lineares) definem as características dos obstáculos perigosos a considerar na AAFR. Estas medidas mínimas correspondem às conclusões da análise desenvolvida no âmbito do projecto europeu RISER [80], onde, sempre que possível, foram identificadas as velocidades de embate consideradas como perigosas a partir da reconstituição de acidentes, elaborada tendo como referência a base de dados detalhada de acidentes deste projecto europeu. A designada velocidade de embate perigoso corresponde à velocidade mínima a que um obstáculo perigoso pode ser embatido para causar ferimentos graves aos ocupantes do veículo descontrolado.

Quadro 29 – Características dos obstáculos pontuais (adaptado de [80]).

Obstáculo	Diâmetro [m]	Velocidade de embate perigoso [km/h]	Observações
Árvores	> 0.2	40	
Postes			
de electricidade e telefones	> 0.2	40	
de iluminação			
dos painéis de sinalização	> 0.1	40	
Suportes de sinalização vertical ou pré-sinalização	> 0.1	40	
Pedras de grandes dimensões		50	
Pilares de pontes, pontões e viadutos		50	
Bocas de aquedutos		50	
Passagens inferiores e outros obstáculos pontuais (vias férreas, rios)			Incluindo os que se encontram no pé do talude.
Terminais de barreiras de segurança			Terminais que não se deformam na direcção da AAFR

Quadro 30 – Características dos obstáculos lineares (adaptado de [80]).

Obstáculo	Altura/ Profundidade [m]	Inclinação	Velocidade de embate perigoso [km/h]	Observações
Taludes				
Em escavação	> 0.2	>1:1	40	
Em aterro	> 0.1	>1:1	40	
Valetas	>0.75	>1:3	40	
Taludes de escavação em rocha /muros em rocha			50	
Muros de contenção				A menos de 1.5 metros da faixa de rodagem
Construções			0	
Vedações			>50	Vedações para animais não são consideradas obstáculos perigos.
Árvores em fila			50	
Estradas, vias férreas e zonas de água adjacentes à estrada			0	
Barreiras de segurança	Só as barreiras que não estejam em conformidade com a EN1317 [34].			

6 CONCLUSÕES

No presente documento, apresentou-se a segunda fase do estudo efectuado pelo LNEC para o InIR relativo à sinistralidade na área adjacente à faixa de rodagem. São preconizadas recomendações para o dimensionamento da AAFR em estradas da Rede Rodoviária Nacional tendo por base um levantamento da prática internacional.

Nesta fase do estudo para o InIR procedeu-se à análise das características da AAFR relacionadas com a segurança rodoviária e a uma síntese das práticas actuais nesta matéria seguidas ao nível internacional.

Neste âmbito efectuou-se o levantamento das estratégias de segurança rodoviária para a AAFR nos países europeus e nos EUA, tendo ficado demonstrado que, tal como acontece desde há várias décadas nos EUA, parte significativa dos países europeus tem, hoje em dia, orientações claras sobre as características a atribuir à AAFR, adoptando medidas concretas em relação a estas, no âmbito das prioridades definidas por cada estado e dos recursos disponibilizados para o efeito.

A importância da avaliação das características da AAFR para a segurança rodoviária é amplamente reconhecida, e a necessidade de aprofundar os conhecimentos neste campo, nomeadamente no que diz respeito aos aspectos relevantes do comportamento dos ocupantes e veículos numa saída descontrolada da faixa de rodagem, é igualmente indispensável.

Neste contexto, o destaque vai para as características da zona livre de obstáculos perigosos. Grande parte dos estudos que foram analisados destinou-se a estabelecer a extensão da zona livre que deve ser disponibilizada para mitigar o número de lesões graves em consequência de despistes. Nos EUA há o consenso generalizado de que a largura da zona livre deve ser, da ordem dos 10 m em estradas onde são praticadas velocidades elevadas. Na Europa, e em particular nos três países analisados com maior pormenor (França, Suécia e Holanda), os valores recomendados são da mesma ordem de grandeza. Reconhece-se igualmente a

importância da inclinação dos taludes presentes nesta zona livre como factor crítico para a segurança dos veículos que nela venham a circular.

Em resultado do levantamento da prática internacional na matéria em apreço e dos diversos estudos relacionados com a mesma, foram, como referido, elaboradas recomendações para o dimensionamento da AAFR em estradas portuguesas.

Quando não for possível assegurar os valores preconizados neste relatório para o dimensionamento da zona livre da AAFR, torna-se necessário o recurso a sistemas de retenção rodoviários de veículos. Para a selecção e colocação destes sistemas foram já elaboradas recomendações que constam do relatório [84] da primeira fase deste estudo.

Lisboa, LNEC, Maio de 2011

VISTOS

Eng.º António Lemonde de Macedo
Investigador Coordenador
Director do Departamento de Transportes

AUTORIAS

Eng.º Carlos Roque
Bolseiro de Projecto FCT

Eng.º João Lourenço Cardoso
Investigador Principal com Habilitação
Chefe do Núcleo de Planeamento Tráfego e Segurança

BIBLIOGRAFIA

- 1 American Association of State Highway and Transportation Officials (2004). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
- 2 American Association of State Highway and Transportation Officials (1974). Highway Design and Operational Practices Related to Highway Safety, Second Edition.
- 3 American Association of State Highway and Transportation Officials (1996). Roadside Design Guide.
- 4 American Association of State Highway and Transportation Officials (2002). Roadside Design Guide.
- 5 Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2000). Observatório de Segurança Rodoviária. Ano de 2000 – Sinistralidade Rodoviária.
- 6 Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2001). Observatório de Segurança Rodoviária. Ano de 2001 – Sinistralidade Rodoviária.
- 7 Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2002). Observatório de Segurança Rodoviária. Ano de 2002 – Sinistralidade Rodoviária.
- 8 Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2003). Observatório de Segurança Rodoviária. Ano de 2003 – Sinistralidade Rodoviária.
- 9 Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2004). Observatório de Segurança Rodoviária. Ano de 2004 – Sinistralidade Rodoviária.
- 10 Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2005). Observatório de Segurança Rodoviária. Ano de 2005 – Sinistralidade Rodoviária.
- 11 Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2006). Observatório de Segurança Rodoviária. Ano de 2006 – Sinistralidade Rodoviária.

- 12 Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2007). Observatório de Segurança Rodoviária. Ano de 2007 – Sinistralidade Rodoviária.
- 13 Braimaister, L. G. (1998). Specific Safety Measures for Emergency Lanes and Shoulders of Motorways, SWOV Institute for Road Safety.
- 14 British Columbia Transportation and Infrastructure (2007).B.C. Supplement to TAC Geometric Design Guide 2007 Edition. Queen's Printer Online Publications. ID Stock Number 7610003312.
- 15 Cardoso, J.L. (2010). Recomendações para Definição e Sinalização de Limites de Velocidade. Prevenção Rodoviária Portuguesa. ISBN 978-972-98080-4-3
- 16 Cardoso, J.L.; Roque, C.A. (2001). Área Adjacente à Faixa de rodagem de Estradas Interurbanas e Sinistralidade. Relatório LNEC, Lisboa.
- 17 Cardoso, João L. (1994). Sinistralidade na Rede Rodoviária Nacional no Ano de 1990, Relatório 152/94 – NTSR, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- 18 Cardoso, João L. (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.
- 19 Cardoso, João L. (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.
- 20 Cardoso, João L. (2007). Métodos Racionais de Apoio à Intervenção da Engenharia em Segurança Rodoviária. Programa de Investigação apresentado para a obtenção do título de “Habilitado para o exercício de funções de Coordenação de Investigação Científica”, LNEC.
- 21 CEDR - Conference of European Directors of Roads (2008). Best practice for cost-effective road safety infrastructure investments. Full Report prepared by the Conference of European Directors of Roads.

- 22 Chayanon, S., Nebergall, M., Shankar, V., Juvva, N., Ouyang, Y. (2003). Interaction between the roadway and roadside – an econometric analysis of design and environmental factors affecting segment accident rates. Research Report. Research Project T1803, Task 31. Interaction between Roadway and Roadside Accidents. Washington State Transportation Center (TRAC).
- 23 Coon, B. A., Sicking, D.L., Mak, K. K. (2006). Guardrail Run-Out Length Design Procedures Revisited. Transportation Research Record 1984 Transportation Research Board, Washington, D.C, pp. 14-20.
- 24 Council, Forrest M., and J. Richard Stewart. Attempt to Define Relationship between Forces to Crash-Test Vehicles and Occupant Injury in Similar Real-World Crashes. In Transportation Research Record 1419, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1993, pp 78-85.
- 25 Craus, J.; Moshe, L.; Ishai, I. (1991). Effect of Pavement and Shoulder Condition on Highway Accidents, Highway Systems Human Performance, and Safety, Transportation Research Record n°1318, Transportation Research Board.
- 26 CROW (2004). Handboek veilige inrichting van bermen; Niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom. Publicatie 202. CROW Kenniscentrum voor verkeer, vervoer en infrastructuur, Ede.
- 27 CSIR Transportek (2001). Geometric Design Guidelines. Council for Scientific and Industrial Research. South African National Road Agency Limited
- 28 David Milne (2008). Designing safer roadsides. A Handbook for Highway Engineers. Published by Hemming Information Services in association with The Passive Revolution and Traffic Engineering & Control. ISBN 0 7079 7099 7.
- 29 Davis, G.A., Morris, P.M (2006). Reanalysis of Hutchinson and Kennedy's Encroachment Frequency Data. Transportation Research Record 1953, Transportation Research Board, Washington, D.C, pp 65-70.

- 30 Directorate-General for Energy and Transport (2008). CARE Manual. Community database on Accidents on the Roads in Europe. European Commission.
- 31 Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., Sørensen, M. (2009). The Handbook of Road Safety Measures. Second Edition. Elsevier Science, Oxford.
- 32 European Committee for Standardization (2005). EN 1317-1 Road Restraint Systems—Part 1: Terminology and General Criteria for Test Methods. CEN/TC 226 plenary meeting – 16/17 June 2005 in Vienna.
- 33 European Committee for Standardization (2005). EN 1317-1 Road Restraint Systems—Part 1: Terminology and General Criteria for Test Methods. CEN/TC 226 plenary meeting – 16/17 June 2005 in Vienna.
- 34 European Committee for Standardization (2005). EN 1317-2 Road Restraint Systems—Part 2: Performance Classes, Impact Test Acceptance Criteria and Test Methods for Safety Barriers. CEN/TC 226 plenary meeting – 16/17 June 2005 in Vienna.
- 35 European Committee for Standardization (2005). EN 1317-2 Road Restraint Systems—Part 2: Performance Classes, Impact Test Acceptance Criteria and Test Methods for Safety Barriers. CEN/TC 226 plenary meeting – 16/17 June 2005 in Vienna.
- 36 European Committee for Standardization (2007). EN 12767 Road Passive safety of support structures for road equipment - Requirements and test methods. CEN/TC 226.
- 37 European Committee for Standardization (2007). EN 12767 Road Passive safety of support structures for road equipment - Requirements and test methods. CEN/TC 226.
- 38 European Transport Safety Council (1998). Forgiving Roadsides.
- 39 FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2008). RPS 2008 – Guidelines for Passive Protection on Roads using Vehicle Restraint Systems. Road and Transport Research Association. Traffic Management Working Group
- 40 FHWA (1992). Safety Effectiveness of Highway Design Features (Vol. I-VI), Publication N°. FHWA-RD-91-044 to 049, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

- 41 Gabauer, D., Thomson, R. Correlation of vehicle and roadside crash test injury criteria. 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) - Washington D.C. June 6-9, 2005. Paper Number 05-0283.
- 42 Glennon J.C., (1974). NCHRP Report No. 148: Roadside Safety Improvement Programs on Freeways—A Cost-Effective Priority Approach, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D. C.
- 43 Hall, L.E.; Powers, R.D.; Turner, D.S.; Brilon, W.; Hall, J.W. (1998). Overview of Cross Section Design Elements, in International Symposium on Highway Geometric Design Practices, Conference Proceedings, Texas Transportation Institute.
- 44 Hayes E.; Ross,Jr. (1995). Evolution of Roadside Safety, in Roadside Safety Issues, Transportation Research Circular n°435, Transportation Research Board.
- 45 Highways Agency (2002). To Review the Standards for the Provision of Nearside Safety Fences on Major Roads. Report of the Highways Agency Working Group to Review the Standards for the Provision of Nearside Safety Fences on Major Roads
- 46 http://ec.europa.eu/transport/roadsafety/road_safety_observatory/care_en.htm (acedido em 2009-12-09)
- 47 <http://www.euroncap.com/> acedido em 2010.09.13
- 48 Hutchinson J. W., Kennedy T. W. (1966). Medians of Divided Highways - Frequency and Nature of Vehicle Encroachments. Engineering Experiment Station Bulletin 487, University of Illinois.
- 49 Instituto Português da Qualidade. (2007). NP ENV 1317-3 Sistemas de retenção rodoviários – Parte 3: Amortecedor de choque. Classes de desempenho, critérios de aceitação do ensaio de choque e métodos de ensaio. Versão portuguesa da EN 1317-3:2000.
- 50 Instituto Português da Qualidade. (2007). NP ENV 1317-3 Sistemas de retenção rodoviários – Parte 3: Amortecedor de choque. Classes de desempenho, critérios de

aceitação do ensaio de choque e métodos de ensaio. Versão portuguesa da EN 1317-3:2000.

- 51 Instituto Português da Qualidade. (2007). NP ENV 1317-4 Sistemas de retenção rodoviários – Parte 4: Classes de desempenho, critérios de aceitação dos ensaios de choque e métodos de ensaio para terminais e transições de barreiras de segurança.
- 52 Instituto Português da Qualidade. (2007). NP ENV 1317-4 Sistemas de retenção rodoviários – Parte 4: Classes de desempenho, critérios de aceitação dos ensaios de choque e métodos de ensaio para terminais e transições de barreiras de segurança.
- 53 JAE (1996). Postos S.O.S. – Desenhos Tipo, Junta Autónoma de Estradas, Almada.
- 54 Junta Autónoma de Estradas (1994). Norma de Traçado.
- 55 Kim, K., Lawrence, N., Richardson, J., Li, L. (1995). Personal and behavioral predictors of automobile crash and injury severity. *Accident Analysis and Prevention* 27 4 (1995), pp. 469–481.
- 56 Lee, J., Mannering, F. (2002). Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis *Accident Analysis and Prevention* 34 (2002) 149–161.
- 57 Lynam D.A., Kennedy J.V. (2005). The Travel of Errant Vehicles after Leaving the Carriageway. PUBLISHED PROJECT REPORT PPR298. Version: 1. Prepared for: Project Record: 3/372/R14 Travel of Errant Vehicles after Leaving the Carriageway. TRL Limited May 2005.
- 58 Macedo, A.L. (1984). Estudos relativos ao equipamento de segurança da estrada. Guardas de Segurança (3º Relatório). Relatório do Proc.º 93/11/7487. LNEC, Lisboa.
- 59 Macedo, A.L.; Castilho, A.J. (1979). Estudos relativos ao equipamento de segurança da estrada. Guardas de Segurança (1º Relatório). Relatório do Proc.º 56/15/5298. LNEC, Lisboa.

- 60 Macedo, A.L.; Castilho, A.J. (1979). Estudos relativos ao equipamento de segurança da estrada. Guardas de Segurança (2º Relatório). Relatório do Proc.º 56/15/5298. LNEC, Lisboa.
- 61 Main Roads Western Austrália (2006). Assessment of Roadside Hazards. Government of Western Austrália. Road and Traffic Engineering. Technology and Environment. Directorate. File No. 05/9104. Document D06#26105.
- 62 Mak K.K., Sicking D.L. (2003). Roadside Safety Analysis Program (RSAP) - Engineer's Manual. NCHRP REPORT 492. Washington D C, USA.
- 63 Matena S., Louwerse W., Schermers. G., Vaneerdewegh P., Pokorny P., Gaitanidou L. (HIT), Elvik R. (TOI), Cardoso J. (2005). Best Practice on Self-explaining and Forgiving Roads. RIPCORD-ISEREST Report D3, Federal Highway Research Institute (BAST), Bergisch Gladbach, Germany.
- 64 McGee, H. W.; Hughes, W.E.; Daily, K. (1995). Effect of Highway Standards on Safety, NCHRP Report 374, Transportation Research Board.
- 65 McGinnis, R.G. (1999). Reexamination of roadside encroachment data (with discussion and closure). Transportation Research Record No. 1690, Paper No. 99-11380.
- 66 Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (1999). Accidents Mortels Contre Obstacles Fixes – CEESAR.
- 67 NCHRP (1994). Severity Indices for Roadside Features – A Synthesis of Highway Practice, NCHRP Synthesis 202, National Research Council, Transportation Research Board.
- 68 Parliament of Victoria (2005). Road Safety Committee Inquiry into Crashes Involving Roadside Objects. Parliamentary Paper No. 119 Session 2003-05. ISBN - 0-9751534-0 -4
- 69 Parliament of Victoria (2005). Road Safety Committee Inquiry into Crashes Involving Roadside Objects. Parliamentary Paper No. 119 Session 2003-05. ISBN - 0-9751534-0 -4

- 70 PIARC (2008). Human Factors Guideline for Safer Road Infrastructure. Piarc Technical Committee C3.1 Road Safety. ISBN : 2-84060-215-6
- 71 Powers R.D.; Hall, J.W.; Hall, L.E.; Turner, D.S. (1998). The “Forgiving Roadside” Design of Roadside Elements, in International Symposium on Highway Geometric Design Practices, Conference Proceedings, Texas Transportation Institute.
- 72 Ray, M.H.; Carney, J.F.; Opiela, K.S. (1995). Workshop Summary, in Roadside Safety Issues, Transportation Research Circular n°435, Transportation Research Board.
- 73 Reid, J. D., Kuipers, B. D., Sicking D. L., Faller R. K. (2009). Impact performance of W-beam guardrail installed at various flare rates. International Journal of Impact Engineering 36 (2009) 476–485
- 74 Reid, J.D., Kuipers, B.D., Sicking, D.L., and Faller, R.K. (2007). Guardrail Flare Rates, Paper No. 07-0517, Presented at the Annual Meeting of the Transportation Research Board and Published in the Compendium of Papers CD-ROM, TRB AFB20 Committee on Roadside Safety Design, Transportation Research Board, Washington D.C., January 2007.
- 75 Rijkswaterstaat (2007). Nieuwe Ontwerprichtlijn Autosnelwegen. Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management. ISBN 90 3693 636 5
- 76 RISER (2003). D05: Summary of European Design Guidelines for Roadside Infrastructure. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme “Growth”, Project "RISER" GRD2/2001/50088.
- 77 RISER (2003). D05: Summary of European Design Guidelines for Roadside Infrastructure. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme “Growth”, Project "RISER" GRD2/2001/50088.
- 78 RISER (2004). D01: Accident databases for collisions with roadside infrastructure. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme “Growth”, Project "RISER" GRD2/2001/50088.

- 79 RISER (2005). D04: Identify envelope of vehicle and driver response prior to collisions, European Community R&TD Project, 5th Framework Programme "Growth", Project "RISER" GRD2/2001/50088, 2005
- 80 RISER (2005). D06: European Best Practice for Roadside Design: Guidelines for Roadside Infrastructure on New and Existing Roads. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme "Growth", Project "RISER" GRD2/2001/50088.
- 81 RISER (2006). D03: Critical vehicle and infrastructure interactions, European Community R&TD Project, 5th Framework Programme "Growth", Project "RISER" GRD2/2001/50088.
- 82 RISER (2006). D06: European Best Practice for Roadside Design. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme "Growth", Project "RISER" GRD2/2001/50088.
- 83 Roque, C.A. (2001). Influência das Características da Área Adjacente à Faixa de rodagem na Sinistralidade Rodoviária. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Transportes, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- 84 Roque, C.A.; Cardoso, J.L. (2010). Sistemas de retenção rodoviários de veículos. Recomendações para selecção e colocação. Estudo realizado por solicitação do Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias, I.P. Relatório LNEC 382/2010, Lisboa.
- 85 SAFESTAR (1997) Safety standards for road design and redesign. Deliverable D4.2 Head-on and run off the road accidents on rural roads in Finland. Project under the European Commission Fourth Framework programme.
- 86 SAFESTAR (1998) Safety Standards for Road Design and Redesign – SAFESTAR Final Report, European Commission Under the Transport RTD Programme of the Fourth Framework Programme.
- 87 Schoon, C. - Draft (1998). Criteria for Safe Roadside in Relation With the Installation of Safety Barriers (Steel and Concrete), SWOV Institute for Road Safety.

- 88 Schoon, C.C. (1997). Roadside design in the Netherlands for enhancing safety. Contribution to the conference 'Traffic Safety on Two Continents', Lisbon, Portugal, September 22-24, 1997. D-97-20. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.
- 89 Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (1995). Highway Design Guide. Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement.
- 90 Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (2007). Handling lateral obstacles on main roads in open country. Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables
- 91 SETRA (1992). Sécurité des Routes et des Rues, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes - CERTU, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement.
- 92 SETRA (2000). ICTAAL (Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison) National Instruction on Technical Design Requirements for Rural Motorways. Ministry of Public Works, Directorate of Roads, Transport and Housing. Roads and Motorways Engineering Department. Centre for Safety and Road Engineering. France.
- 93 Shojaati, M. (2003). Correlation between injury risk and impact severity index ASI, Proceedings of the 3rd Swiss Transport Research Conference Monte Verita/Ascona, March 19–21 (2003).
- 94 Sicking D L , Ross H.E. (1986). Benefit-cost analysis of roadside safety alternatives. Transportation Research Record 1065, pp 98-105. Washington D C, USA.
- 95 Sicking, D. L. Lechtenberg, K. A., Peterson S. (2009). Guidelines for Guardrail Implementation NCHRP REPORT 638. Project 22-12(02). National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board. ISBN: 978-0-309-11781-4

- 96 Sicking, D. L., Ross, H. E., Jr., (1986). Benefit-Cost Analysis of Roadside Safety Alternatives. Transportation Research Record 1065, Transportation Research Board, Washington, D.C, pp. 99-105.
- 97 Statens vegvesen (2003). Rekkverk. Nr. 231 i Vegvesenets håndbokserie Forsidetegning: Siv. ark., landskapsark. Rolf Gulbrandsen. August 2003. Vegdirektoratet. ISBN 82-7207-545-8.
- 98 SUPREME (2007). Resumo e Publicação das Melhores Práticas em Matéria de Segurança Rodoviária nos Estados-Membros. Melhores Práticas De Segurança Rodoviária. Manual De Medidas Nacionais. KfV (Austrian Road Safety Board).
- 99 SUPREME (2007). Summary and Publication of Best Practices. In Road Safety in The Member States Thematic Report: Infrastructure. KfV (Austrian Road Safety Board).
- 100 Swedish National Road and Transport Research Institute (1990). Strategic Highway Research Program (SHRP) and Traffic Safety on Two Continents,
- 101 Swedish National Road and Transport Research Institute (1993). Strategic Highway Research Program (SHRP) and Traffic Safety on Two Continents.
- 102 Swedish National Road and Transport Research Institute (1997). Traffic Safety on two Continents – Roadside design.
- 103 SWOV – Institute for Road Safety Research (2006). Advancing Sustainable Safety: National Road Safety Outlook for 2005-2020. Leidschendam. Netherlands.
- 104 SWOV – Institute for Road Safety Research (2007). Safe road shoulders. Leidschendam. Netherlands.
- 105 SWOV (2007). Safe road shoulders. SWOV Fact sheet. Leidschendam, the Netherlands.
- 106 Transit New Zealand (2005). STATE HIGHWAY GEOMETRIC DESIGN MANUAL. SECTION 7: ROADSIDE FEATURES. Revised Draft: 12 May 2005

- 107 Transportation Research Board (1975). Roadside Hazards and Safety Improvements, Transportation Research Record n°543.
- 108 Transportation Research Board (1986). Roadside Safety, Transportation Research Record n°1065.
- 109 Transportation Research Board (1987). Designing safer roads. Special Report SR 214, TRB, National Research Council, Washington D.C.
- 110 Transportation Research Board (1991). Roadside Safety Features, Transportation Research Record n°1302.
- 111 Transportation Research Board (1992). Development and Evaluation of Roadside Safety Features, Transportation Research Record n°1367.
- 112 Transportation Research Board (1995). Geometric Design, Roadside Safety Features, Roadside Hardware Monitoring, and Scenic Loop Tours, Transportation Research Record n°1500,
- 113 Transportation Research Board (1996). Roadside Safety Issues Revisited, Transportation Research Circular n°453.
- 114 Transportation Research Board (1997). Strategies for Improving Roadside Safety, Research Result Digest 220.
- 115 Turner, D.S. (1987). A Primer on the Clear Zone, Geometric Design and Operational Effects, Transportation Research Record n°1122, Transportation Research Board.
- 116 Vägverket (2000). Sidoutformning, Vägutformningsdagarna 2000 - Arbetsmaterial. Swedish National Road Administration. SE-781 87 Borlänge, Sweden.
- 117 Vägverket (2001). VU 94 ROAD DESIGN, English summary, Swedish design guidelines for state roads. Swedish National Road Administration. SE-781 87 Borlänge, Sweden.
- 118 Vägverket (2006). SAFE TRAFFIC Vision Zero on the move. Swedish Road Administration. SE-781 87 Borlänge, Sweden.

- 119 Washington State Department of Transportation (2008). Design Manual.
- 120 Wolford, D., Sicking D. L. (1996). Guardrail Runout Lengths Revisited. Transportation Research Record 1528, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 78–86.
- 121 Wu, W; Thomson, R. (2007). A study of the interaction between a guardrail post and soil during quasi-static and dynamic loading, International Journal of Impact Engineering 34(5): 883–898.
- 122 Zegeer, C.V.; Cynecki, M.J (1984). Determination of Cost-Effective Roadway Treatments for Utility Pole Accidents, Safety Appurtenances and Utility Accommodation, Transportation Research Record n°970, Transportation Research Board.
- 123 Zegeer, C.V.; Deacon, J.A. (1987). Effect of Lane Width, Shoulder Width, and Shoulder Type on Highway Safety, Relationship Between Safety and Key Highway Features, National Research Council, Transportation Research Board State of Art Report 6.