



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES
Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança

Proc. 0703/14/16605

SAFESIDE – SINISTRALIDADE ENVOLVENDO A ÁREA ADJACENTE À FAIXA DE RODAGEM

Estado-da-arte

Estudo financiado pela Fundação para a Ciência
e Tecnologia

Lisboa • Dezembro de 2011

I&D TRANSPORTES

RELATÓRIO 390/2011 – NPTS

SAFESIDE – SINISTRALIDADE ENVOLVENDO A

ÁREA ADJACENTE À FAIXA DE RODAGEM

ESTADO-DA-ARTE

SUMÁRIO

O presente relatório foi elaborado no âmbito do projecto de I&D, co-financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, designado SAFESIDE – Sinistralidade envolvendo a área adjacente à faixa de rodagem, o qual está integrado no projecto “Rodovias auto-explicativas e tolerantes” do Plano de Investigação Programada 2009-2012 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. O propósito do projecto SAFESIDE consiste em desenvolver um método racional de avaliação dos efeitos das características da área adjacente à faixa de rodagem (AAFR) sobre a sinistralidade, baseado nos resultados da análise da sinistralidade ocorrida nas estradas portuguesas.

Neste relatório, elaborado no âmbito da tarefa WP 1 designada “Estado-da-Arte”, são abordados os conceitos de “Estrada auto-explicativa”, “AAFR tolerante” e “Zona livre” e definidos critérios gerais para o dimensionamento da AAFR.

É ainda descrita a prática actualmente em vigor, num vasto conjunto de países, em matéria de segurança da AAFR. São também descritas as situações em que as intervenções para melhoria da segurança rodoviária da AAFR terão de contemplar – em determinados trechos ou pontos singulares do traçado, onde não seja eficiente disponibilizar uma zona livre adequada – a instalação de dispositivos de retenção que evitem a entrada de veículos em zonas mais perigosas que os próprios dispositivos. Foram também analisadas as actuais normas de desempenho em vigor para estes sistemas na Europa e descritas as práticas actualmente em vigor nos Estados Unidos da América e em diversos outros países. Foram igualmente analisadas as metodologias actualmente existentes para selecção dos diferentes sistemas disponíveis.

SAFESIDE - ROADSIDE SAFETY

STATE OF THE ART

ABSTRACT

This report was developed in the scope of Workpackage 1 – State of the Art of SAFESIDE - Roadside Safety project, co-financed by the Fundação para a Ciência e a Tecnologia and carried out under the “Self explaining and forgiving roads” project of the Programmed Research Plan 2009-2012 at Laboratório Nacional de Engenharia Civil. The aim of the project is to develop a method for assessing the influence of roadside characteristics in Portuguese road safety. The method will be based in Portuguese data and experience.

The present document describes key concepts, such as “self-explaining road”, “forgiving roadside” and “clear zone”, establishes roadside design criteria and discusses current practice and state of the art on roadside design.

Road restraint systems standardization strategies adopted in different European countries, the USA and in several other countries are also presented, with guidelines for their selection and installation.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	ENQUADRAMENTO	6
2.1	Generalidades	6
2.2	Os conceitos de “Estrada Auto-explicativa” e “AAFR tolerante”	8
3	ASPECTOS RELEVANTES NO PROJECTO DA AAFR	15
3.1	O conceito de zona livre	15
3.2	Dimensionamento da AAFR	22
3.3	Prática actual.....	34
4	SISTEMAS DE RETENÇÃO DE VEÍCULOS	55
4.1	Normas de desempenho	56
4.1.1	Nível de retenção.....	59
4.1.2	Gravidade do embate.....	61
4.1.3	Deformabilidade.....	62
4.1.4	Ensaio ao comportamento do veículo	64
4.2	Comparação com as normas NCHRP.....	65
4.3	Seleção de sistemas de retenção de veículos	67
4.4	Aspectos a considerar na transposição para estradas portuguesas	69
4.4.1	Identificação dos obstáculos perigosos	69
4.4.2	Avaliação da necessidade de colocação e selecção do nível de retenção	70
4.4.3	Posicionamento lateral do sistema.....	78
4.4.4	Comprimento necessário.....	81
5	CONCLUSÕES	83
	BIBLIOGRAFIA	86

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Definição de zona livre em diversos países europeus.....	21
Quadro 2 – Abordagem do conceito de “área de recuperação” em diversos países europeus.....	22
Quadro 3 – Redução percentual de despistes e do total de acidentes resultante da redução da inclinação dos taludes (adaptado de [25]).	24
Quadro 4 – Efeito da redução da inclinação dos taludes no número de acidentes.....	24
Quadro 5 – Percentagem de redução de acidentes para aumentos da largura da zona livre	34
Quadro 6 – Efeito do aumento da largura da zona livre no número de acidentes	34
Quadro 7 – Características da zona de recuperação em estradas novas em França.....	35
Quadro 8 – Características da zona de segurança em estradas novas em França.....	36
Quadro 9 – Largura da zona livre de obstáculos na Holanda (adaptado de [70]).....	36
Quadro 10 – Largura da zona livre de obstáculos em auto-estradas na Holanda	37
Quadro 11 – Critérios de selecção do tipo de AAFR na Suécia – perspectiva do condutor (adaptado de [84, 83]).	42
Quadro 12 – Critérios de selecção do tipo de AAFR na Suécia – eficiência	42
Quadro 13 – Distância mínima (m) a obstáculo fixo sem barreira de segurança (secção de escavação em maciço rochoso) (adaptado de [84, 83]).....	43
Quadro 14 – Altura máxima de aterro e a distância mínima a precipícios	43
Quadro 15 – Largura da zona livre de obstáculos na Europa (adaptado de [55]).	45
Quadro 16 – Largura da zona livre (adaptado de [4]).....	48
Quadro 17 – Ajustamentos relativos a curvas em planta (adaptado de [4]).....	49
Quadro 18 – Largura da zona livre de projecto (adaptado de [86]).	51
Quadro 19 – Largura da zona livre (m) (adaptado de [30]).	54
Quadro 20 – Critérios de embate do veículo de ensaio (adaptado de [21]).	60
Quadro 21 – Níveis de retenção de barreiras de segurança (adaptado de [21]).	60
Quadro 22 – Níveis de gravidade do embate de acordo com a EN1317 (adaptado de [21]).	62
Quadro 23 – Níveis de largura útil de acordo com a EN1317 (adaptado de [21]).	64
Quadro 24 – Comparação dos requisitos de ensaio da EN 1317 e da NCHRP 350 (adaptado de [21, 45]).	66

Quadro 25 – Definição de critérios de instalação.....	68
Quadro 26 – Exemplos de critérios para a colocação de barreiras de segurança.....	71
Quadro 27 – Critérios de necessidade de colocação e selecção de nível de retenção.....	77
Quadro 28 – Selecção do nível de retenção.	78
Quadro 29 – Comprimento necessário mínimo das barreiras de segurança metálicas.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Estrada auto-explicativa com AAFR tolerante [53].....	13
Figura 2 – Zona de recuperação e a zona de segurança [59].....	17
Figura 3 – Relação geral para a distribuição de acidentes na zona livre (adaptado de [82]).	23
Figura 4 – Zona livre.	25
Figura 5 – Percentagem de incursões na AAFR sem colisão com obstáculos para larguras inferiores às indicadas e para diferentes profundidades de valetas (adaptado de [83]).....	26
Figura 6 – Percentagem de incursões na AAFR sem colisão com obstáculos para larguras inferiores às indicadas e para diferentes tipos de veículos (adaptado de [83])......	27
Figura 7 – Percentagem de incursões na AAFR sem colisão com obstáculos para larguras inferiores às indicadas e para diferentes ângulos de incursão (adaptado de [83]).	28
Figura 8 – Ângulos de incursão na AAFR (adaptado de [83]).....	29
Figura 9 – Relação entre o risco de colisão com árvores e a distância.....	30
Figura 10 – 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 [57])......	31
Figura 11 – 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 [57])......	32
Figura 12 – Frequência média anual de acidentes envolvendo postes como função da densidade e recuo dos postes (adaptado de [41]).	33
Figura 13 – Características da zona livre de obstáculos em auto-estradas na Holanda.....	39
Figura 14 – Tipos de AAFR na Suécia (secção em escavação) [83].	40
Figura 15 – Tipos de AAFR na Suécia (secção em aterro) [83].	41
Figura 16 – Distribuição dos países com uma determinada largura para a zona livre de obstáculos para auto-estradas e estradas expresse de acordo com normas.....	44
Figura 17 – Largura da zona livre (adaptado de [4]).	47
Figura 18 – Largura da área de recuperação (adaptado de [86]).	53
Figura 19 – Tipos de sistemas (adaptado de [20]).....	56
Figura 20 – Centro de gravidade do veículo de ensaio (adaptado de [20]).	58

Figura 21 – Valores medidos de deflexão dinâmica (D), largura útil (W) [18].	63
Figura 22 – Trajectória do veículo de ensaio (adaptado de [21]).	65
Figura 23 – Necessidade de barreiras de segurança [35].	73
Figura 24 – Critérios de avaliação da necessidade e selecção do nível de retenção de barreiras de segurança (adaptado de [24]).	75
Figura 25 – Simulação das condições de uma estrada rural (adaptado de [52]).	79
Figura 26 – Distância livre necessária atrás de um sistema de retenção de veículos	80

1 INTRODUÇÃO

Na União Europeia (UE), morrem anualmente cerca de 40 000 pessoas e 1.6 milhões ficam feridas em acidentes rodoviários. Os despistes e as colisões entre veículos e objectos fora da faixa de rodagem, tais como árvores ou placas de sinalização, são dos maiores problemas ao nível da segurança rodoviária. Por exemplo, no período de 2003 a 2007, registaram-se nas estradas portuguesas 55249 acidentes do tipo atrás descrito, os quais originaram 1943 vítimas fatais. Estes valores correspondem a 29% dos acidentes e 37% dos mortos registados nas estradas do País no mesmo período. Acresce que, ao contrário do que acontece com a sinistralidade rodoviária em Portugal em termos globais, o número de acidentes desta natureza não tem vindo a diminuir nos últimos anos.

Da análise destes números, importa salientar que este tipo de acidentes tem consequências particularmente severas, designadamente elevados números de acidentes graves e índices de mortalidade.

De acordo com Hayes e Ross [28], apesar de nos Estados Unidos da América (EUA), durante o período de 1970 a 1995 se ter verificado uma diminuição no número anual de acidentes rodoviários mortais, continuam a morrer todos os anos, cerca de 40 000 pessoas em consequência de acidentes rodoviários. Deste total, aproximadamente 30% resulta de despistes e colisões entre veículos e objectos fora da faixa de rodagem [28, 3].

A demonstrar a preocupação dos EUA com esta problemática, existe no Transportation Research Board um comité denominado “Roadside Safety Design”, que é parte integrante do “Design and Construction Group”, com mais de 25 membros, dedicado exclusivamente aos problemas relacionados com a segurança da área adjacente à faixa de rodagem (AAFR).

De facto, sendo a infra-estrutura rodoviária um elemento muito importante do sistema de transporte rodoviário, é fundamental o correcto dimensionamento da mesma, 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 envolvidos nesses acidentes).

A intervenção 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.

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 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 nessa década, mais concretamente em 1975, o grupo de trabalho em segurança rodoviária da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) publica 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 [47].

Na década de 1990 destaca-se a publicação pelo European Transport Safety Council (ETSC) de um relatório designado *“Forgiving Roadsides”* [23], o qual delimita a escala do problema num largo conjunto de países europeus, caracterizando o estado da arte e a prática corrente à data, e 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 PQ I&D), RISER (5º PQ I&D) e RANKERS (6º PQ I&D), e no âmbito 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 [64, 65], 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 [64] 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 [11].

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 [36, 37, 38]. Na norma de traçado da Junta Autónoma de Estradas [35] – 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) [8]. Nesse trabalho, a relação entre as características da AAFR e a sinistralidade foram analisadas e foi feita uma primeira abordagem à análise económica dessa relação. Deste trabalho resultou também uma dissertação para obtenção do grau de Mestre em Transportes, intitulada “*Influência das Características da Área Adjacente à Faixa de rodagem na Sinistralidade Rodoviária.*” [54].

Com este enquadramento, o LNEC propôs-se dar seguimento à actividade anterior, mediante a proposta da realização do projecto SAFESIDE – Sinistralidade envolvendo a área adjacente à faixa de rodagem, o qual colheu a aprovação da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), sendo financiado através do Projecto FCT: PTDC/TRA/74520/2006. Este projecto foi estruturado em 8 tarefas, designadas WP, tendo o presente relatório sido elaborado no âmbito do WP1, relativo ao estado da arte.

O propósito do projecto SAFESIDE consiste em desenvolver um método racional de avaliação dos efeitos das características da AAFR sobre a sinistralidade, baseado nos resultados da análise dos acidentes ocorridos nas estradas portuguesas. Esta avaliação inclui a caracterização dos aspectos relacionados com o funcionamento dos sistemas de retenção mais generalizadamente instalados nas estradas do País.

O presente documento está organizado em cinco capítulos, sendo este o primeiro.

No Capítulo 2 é feito o enquadramento do estudo, dando particular destaque aos conceitos de “Estrada auto-explicativa” e “AAFR tolerante”.

No Capítulo 3 é analisado o estado da prática actual do projecto da AAFR, nomeadamente no que diz respeito à designada zona livre¹. É ainda descrita a prática actualmente em vigor, num vasto conjunto de países, em matéria de segurança da AAFR.

O Capítulo 4 é dedicado aos sistemas de retenção de veículos², focando as suas normas de desempenho e as metodologias actualmente existentes para selecção dos diferentes sistemas disponíveis.

No último capítulo apresentam-se as principais conclusões do presente relatório.

¹ Zona da AAFR disponível para o uso seguro por parte de veículos descontrolados

² Sistema instalado na estrada para fornecer um determinado nível de retenção a um veículo descontrolado.

2 ENQUADRAMENTO

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 contribuí 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 atender 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 [10].

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 parâmetro *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 efectivamente 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) [53].

Como exemplo, pode analisar-se a visão holandesa do “sistema de tráfego rodoviário sustentavelmente seguro” [40, 69], na qual a estrutura da rede rodoviária dispõe de um número limitado de categorias de estrada, cada uma com a sua função (definida como fluxo, distribuição ou 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 estrada e um ambiente rodoviário que conduzam a um comportamento seguro por parte dos condutores motivado apenas pelo projecto rodoviário. 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 percepcionar 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 podem ajudar a explicar 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 [53].

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 [40].

O segundo conceito a destacar é o de “AAFR tolerante” (“forgiving roadside”). Na área da segurança rodoviária, foram obtidos avanços graças ao desenvolvimento de equipamentos de segurança eficazes 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 [28], 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” foi introduzido naquela época nos EUA. Não sendo conhecido a quem se deve a formulação deste conceito, atribui-se a K. A. Stonex e a Paul Skeels (entre outros elementos da General Motors Proving) o mérito de reconhecerem a necessidade do mesmo 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, no “*Yellow Book*” da AASHTO de 1967, uma AAFR com uma largura de 9,1 metros (30 pés). Este valor foi obtido com base em estudos realizados com veículos que inadvertidamente saiam 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 dessa 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] da AASHTO, 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 passíveis de estarem presentes 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, 48, 53, 55, 86]:

- 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.

Por último, importa realçar a dificuldade em encontrar exemplos na Europa de estradas que, simultaneamente, possuam boas características auto-explicativas e áreas adjacentes tolerantes [53]. 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 [53].

Em contrapartida, merece igualmente 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.

3 ASPECTOS RELEVANTES NO PROJECTO DA AAFR

Neste capítulo apresentam-se 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.

3.1 O conceito de zona livre

Para assegurar níveis de segurança satisfatórios, é desejável a existência de áreas adjacentes à faixa de rodagem livres de obstáculos que deverão ser tão amplas quanto as condições existentes no local o permitam. Estas áreas constituem a designada “zona livre” ou “zona de segurança”.

A zona livre poderá ter larguras diferentes ao longo de toda a estrada, mas deverá necessariamente estar livre de obstáculos 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. De acordo com as recomendações internacionais, a intervenção a executar nas estradas já existentes deve passar pelos seguintes procedimentos [2, 4, 86]:

1. Supressão dos obstáculos perigosos.
2. Remoção dos mesmos para locais onde haja uma menor probabilidade de serem atingidos.
3. Utilização de dispositivos frágeis para reduzir a gravidade de eventuais colisões.
4. Selecção de um dispositivo com a relação custo-eficácia mais favorável para o redireccionamento do veículo (barreira de segurança) ou para a redução da intensidade do embate (amortecedor de choque).

Quando os obstáculos perigosos não podem ser removidos da AAFR, ou removidos para local seguro, ou ainda modificados 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 plataforma, 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: a zona de recuperação e a zona de segurança [58, 59, 61].

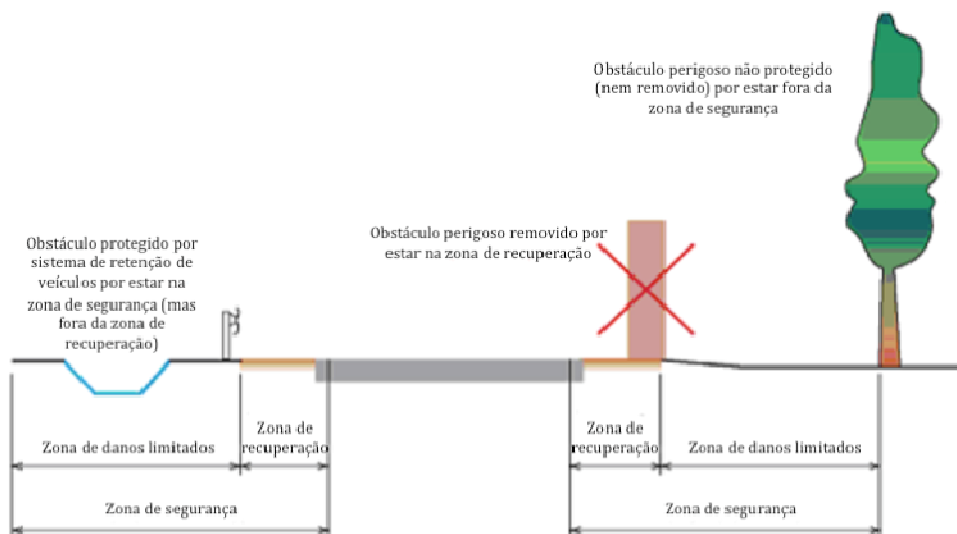


Figura 2 – Zona de recuperação e a zona de segurança [59].

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 [70], 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 segurança e dispositivos de segurança para obstáculos em auto-estradas, seguindo-se o estudo de barreiras de segurança específicas para estradas de faixa de rodagem única.

Chegou-se à conclusão 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 objetos que possam causar sérios danos 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 [71].

Assim, e segundo Schoon [56], para se atingir o objectivo de zonas adjacentes à faixa de rodagem seguras existem as seguintes possibilidades:

- uma zona livre sem obstáculos (e sem guardas de segurança),
- 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 segurança em funcionamento efectivo.

Refira-se que esta lista – tal como acontece com a “zona de segurança” em França – que corresponde à que consta da estratégia utilizada nos EUA, denominada “forgiving roadside” [2, 4, 82, 86], já referida anteriormente.

Em 2007, a nova norma de traçado holandesa para auto-estradas, “Nieuwe Ontwerprichtlijn Autosnelwegen” [50], 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 ao facto de a criação de uma AAFR livre de obstáculos ser, do ponto de vista da segurança rodoviária, bastante melhor que a protecção do tráfego através de sistema de retenção de veículos.

Também a Suécia, no âmbito da denominada “Visão Zero”³, 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 inevitabilidade dos acidentes, evitando que deles resulte um único morto ou ferido grave [85].

Neste contexto a norma de traçado “VU94 (Road Design 94)” [83] introduziu o recurso sistemático ao conceito de “AAFR tolerante” na Suécia. Os conceitos fundamentais focados na referida norma são a denominada zona de segurança e os diferentes tipos de AAFR.

³ De acordo com a “Visão Zero”, não é admissível a ocorrência de mortos ou feridos graves em resultado do funcionamento do sistema de transporte.

Na referida norma sueca, os tipos de AAFR são definidos de acordo com a manobrabilidade expectável do veículo que faz uma incursão pela AAFR. Neste contexto, entende-se 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 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, resulta da análise efectuada que [83]:

- AAFR com inclinação inferior a 1V:6H e 1V:4H conduz, respectivamente, a uma “muito elevada” ou “elevada” probabilidade de manobrabilidade do veículo, ou seja, AAFR de tipo A ou 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, ou seja AAFR de tipo C.

No âmbito do projecto RISER, do 5º Programa-Quadro de I&D da Comunidade 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”⁴ como uma AAFR, livre de quaisquer obstáculos perigosos, disponível para o uso seguro por parte de veículos descontrolados (ver Quadro 1).

⁴ Que designam por “zona de segurança”.

Quadro 1 – Definição de zona livre em diversos países europeus
(adaptado de [51]).

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 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 é 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.

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 identificado em todos os países da União Europeia analisados. Esta zona é utilizada, na maioria dos casos, por veículos que saem da faixa de rodagem (permitindo a recuperação das suas trajectórias), podendo contudo ser utilizada 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 [51]).

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).

3.2 Dimensionamento da AAFR

Para reduzir o número de acidentes mortais envolvendo veículos que saem descontrolados da faixa de rodagem é necessário definir, em primeira análise, qual a largura mínima indicada para a zona livre de obstáculos.

A maioria dos relatórios que abordam esta questão refere a investigação norte-americana desenvolvida nos anos 60 e 70 e sintetizada em publicação do Transportation Research Board [28].

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 uma velocidade instantânea não inferior a 112 km/hora (70 milhas/hora), possam recuperar o controlo da mesma (ver Figura 3). 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%).

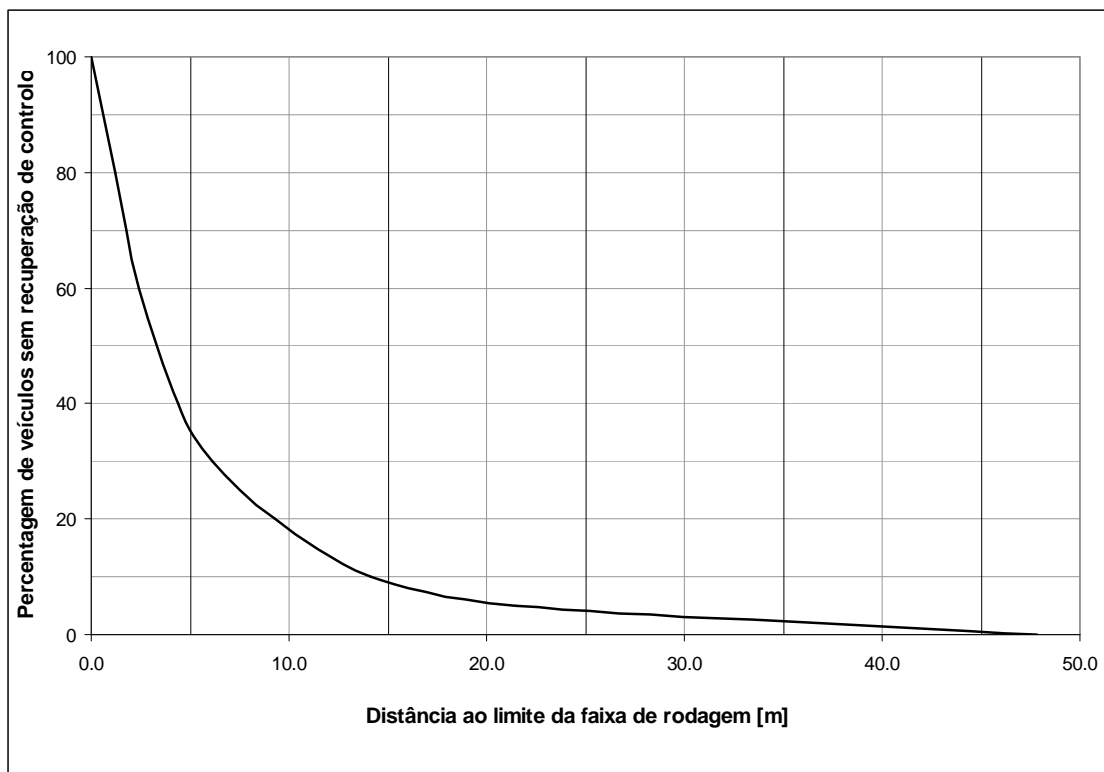


Figura 3 – Relação geral para a distribuição de acidentes na zona livre (adaptado de [82]).

A inclinação dos taludes também é de grande importância na segurança da AAFR, influenciando a sua largura desejável, como é possível verificar nos Quadro 3 e Quadro 4

referentes aos estudos realizados pelo Federal Highway Administration (FHWA) [25] e por Elvik et al. [19], respectivamente.

Quadro 3 – Redução percentual de despistes e do total de acidentes resultante da redução da inclinação dos taludes (adaptado de [25]).

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 4 – Efeito da redução da inclinação dos taludes no número de acidentes (adaptado de [19]).

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)

Fica assim claro que o valor de 9.1 metros não é um valor absoluto, sendo sempre necessária a análise cuidada de cada caso específico para ser possível dispor de uma AAFR segura.



Figura 4 – Zona livre.

Desde os anos 70 aos anos 90 não foram praticamente realizados nos Estados Unidos mais estudos de sinistralidade envolvendo a AAFR, 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 [55, 68].

Ainda na década de 1970, foram realizados na Suécia estudos empíricos acerca desta matéria, sendo as dimensões da zona de segurança – já definida no Quadro 1 – baseadas no estudo de 800 despistes ocorridos neste país no período compreendido entre 1971 e 1974 [83].

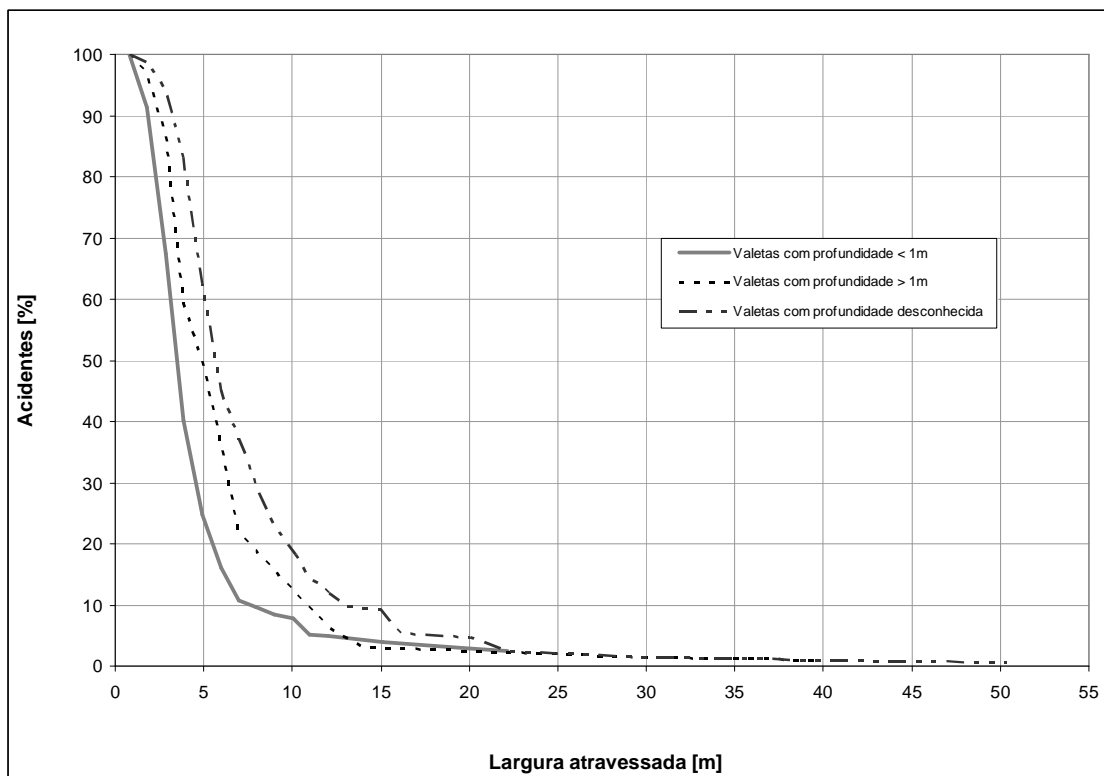


Figura 5 – Percentagem de incursões na AAFR sem colisão com obstáculos para larguras inferiores às indicadas e para diferentes profundidades de valetas (adaptado de [83]).

Na Figura 5 é possível verificar que em cerca de metade dos acidentes a largura atravessada pelos veículos em acidentes sem colisão com obstáculos na AAFR foi inferior a 7 metros e em 10% dos mesmos foi superior a 15 metros.

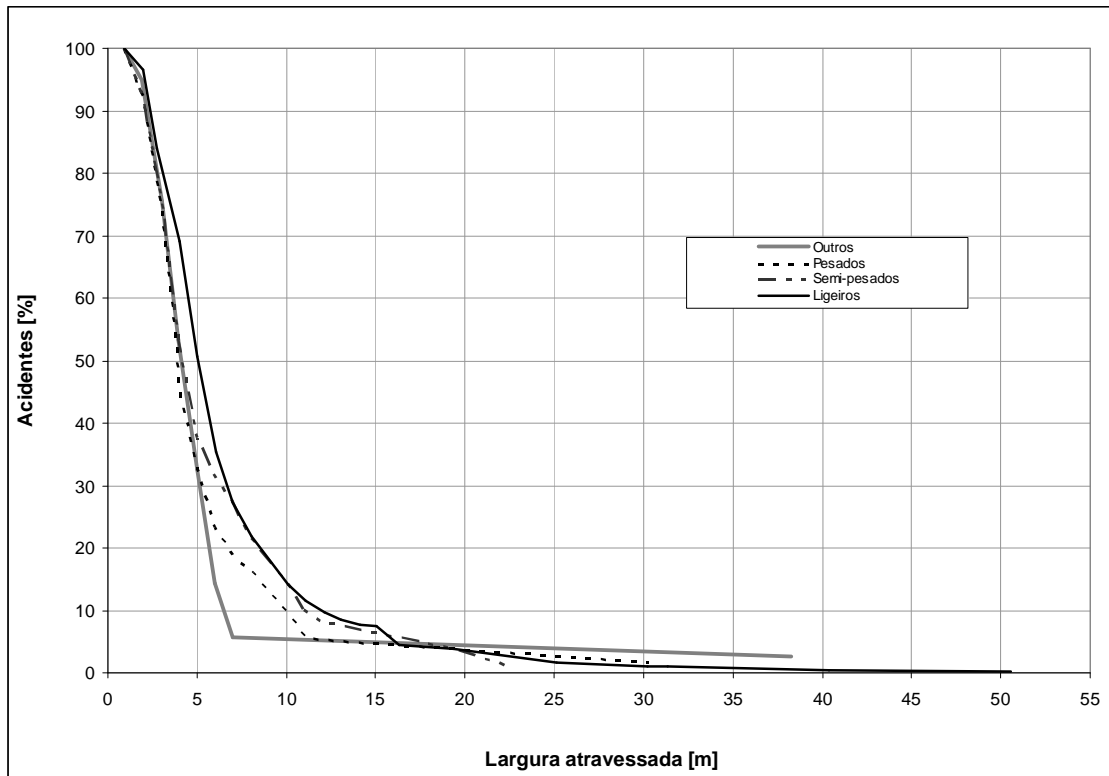


Figura 6 – Percentagem de incursões na AAFR sem colisão com obstáculos para larguras inferiores às indicadas e para diferentes tipos de veículos (adaptado de [83]).

A análise dos valores constantes da **Figura 6** também permite 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.

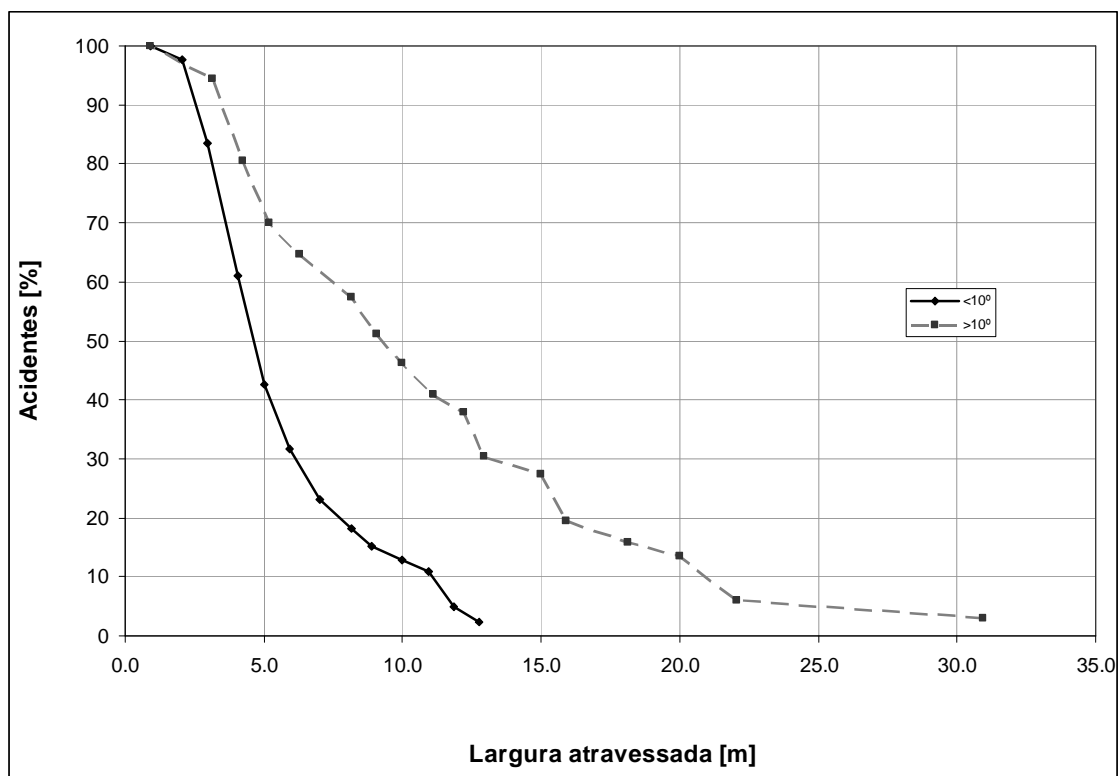


Figura 7 – Percentagem de incursões na AAFR sem colisão com obstáculos para larguras inferiores às indicadas e para diferentes ângulos de incursão (adaptado de [83]).

É ainda de destacar que, tal como expectável e de acordo com a Figura 7, o ângulo de incursão na AAFR é determinante na distância percorrida. Ângulos elevados conduzem a incursões mais afastadas da faixa de rodagem.

No referido estudo sueco [83] foram analisados 204 acidentes no que se refere ao ângulo de incursão na AAFR – ver Figura 8. 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 11.6° .

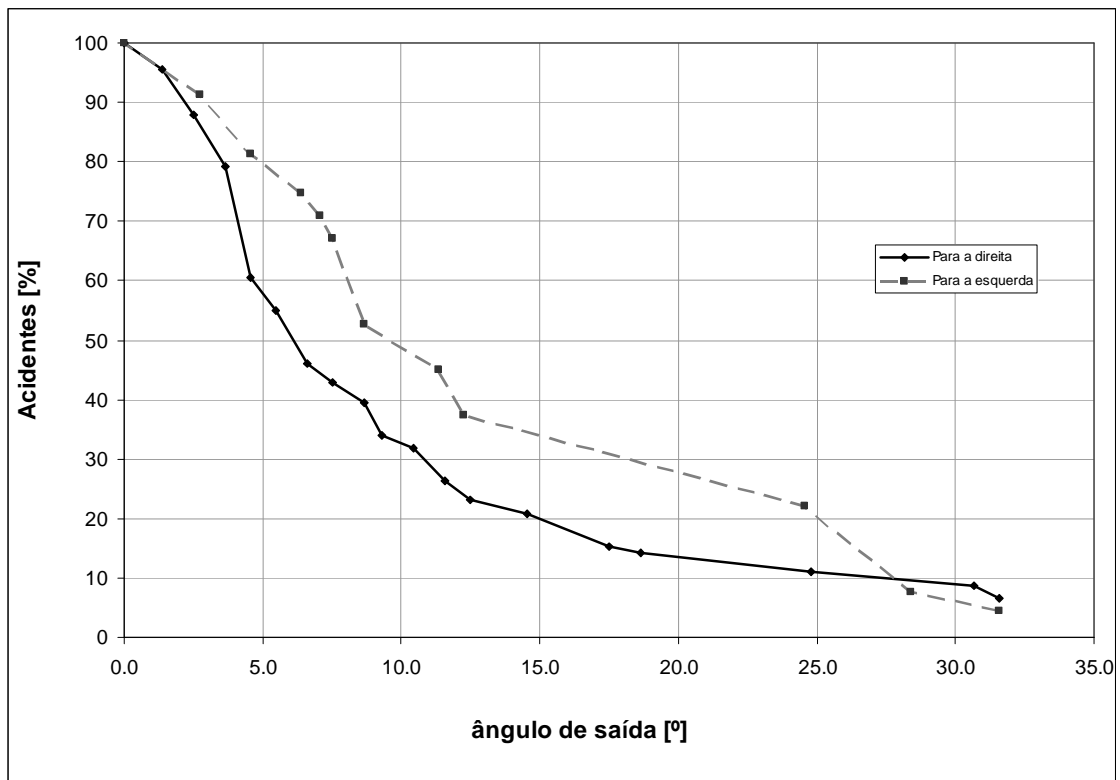


Figura 8 – Ângulos de incursão na AAFR (adaptado de [83]).

Finalmente, destaca-se o facto de aproximadamente 25% dos acidentes registados terem ocorrido para o lado esquerdo da faixa de rodagem.

Para esta tipologia de acidentes, os resultados obtidos (ver Figura 5, Figura 6 e Figura 7) 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 [56,57] 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 9, Figura 10 e Figura 11) consideram-se as distâncias das filas de árvores à berma medidas a partir da guia direita.

O tráfego médio diário é utilizado como parâmetro, 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.

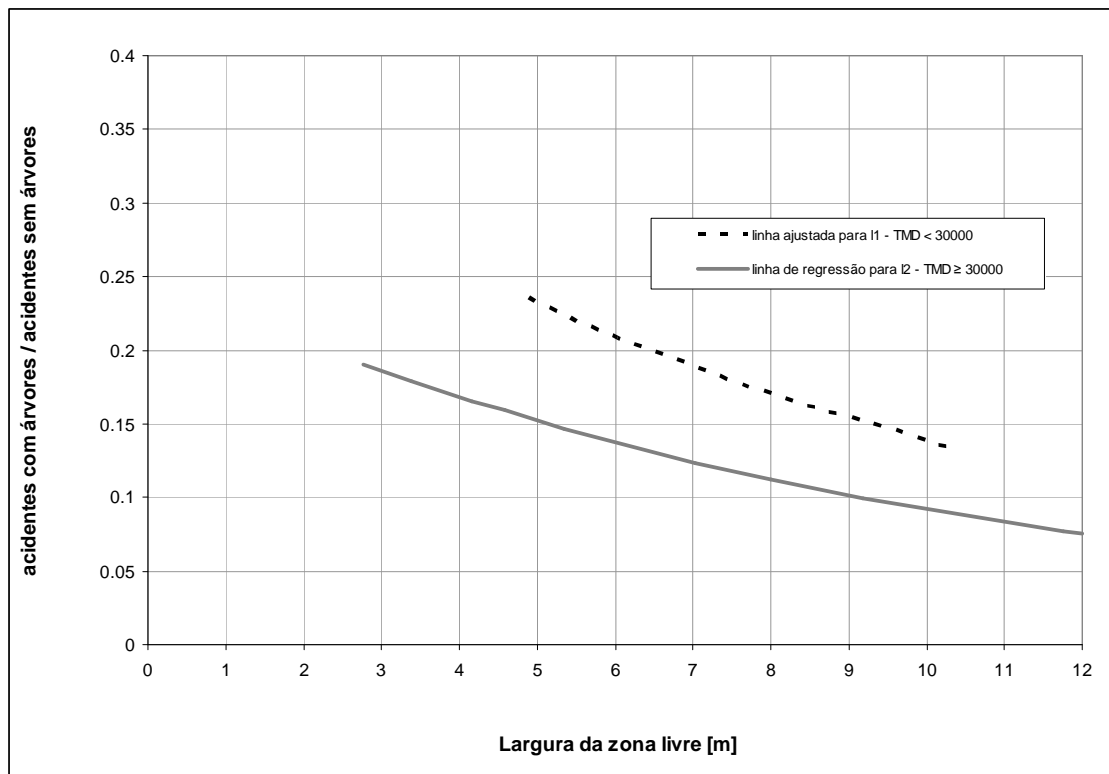


Figura 9 – Relação entre o risco de colisão com árvores e a distância da fila de árvores à berma em auto-estradas (adaptado de [57]).

Nesta figura pode ver-se que, para árvores a uma distância aproximada de 10 metros da estrada, e por cada 10 acidentes com árvores ocorrem 100 acidentes em que as árvores não intervêm.

A figura seguinte (Figura 10) é relativa a estradas de uma faixa de rodagem.

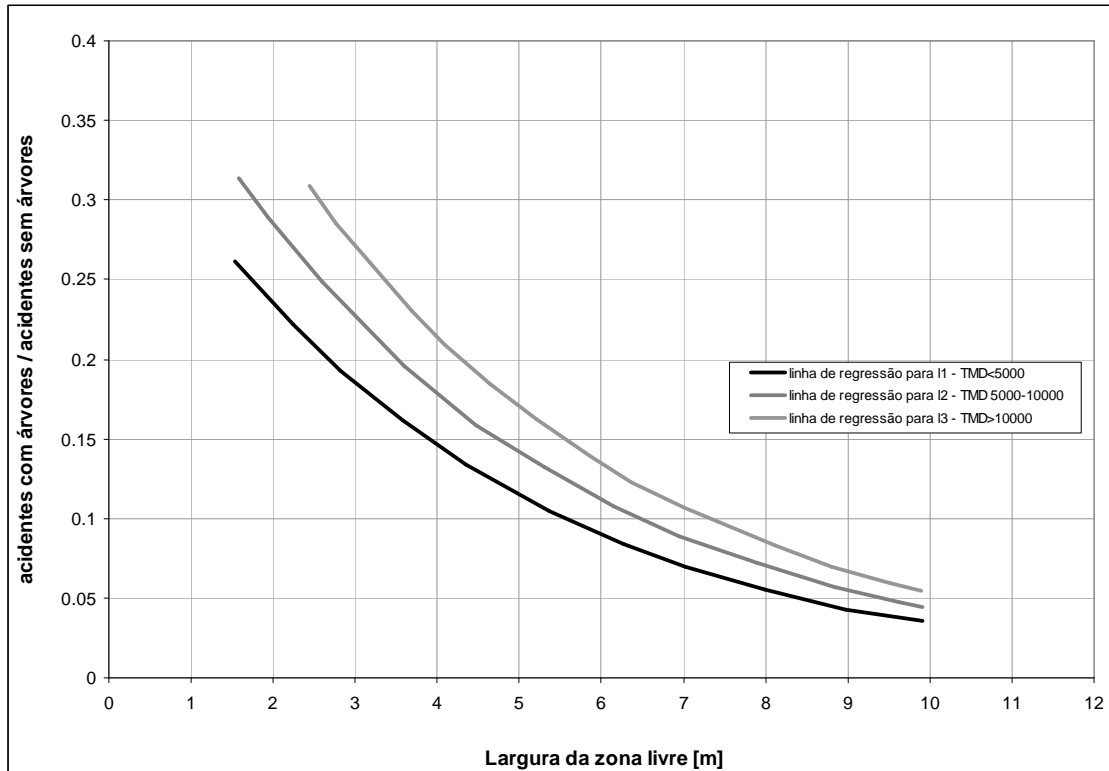


Figura 10 – Relação entre o risco de colisão com árvores e a distância da fila de árvores à berma em estradas com uma faixa de rodagem (adaptado de [57]).

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 para estradas rurais (Figura 11).

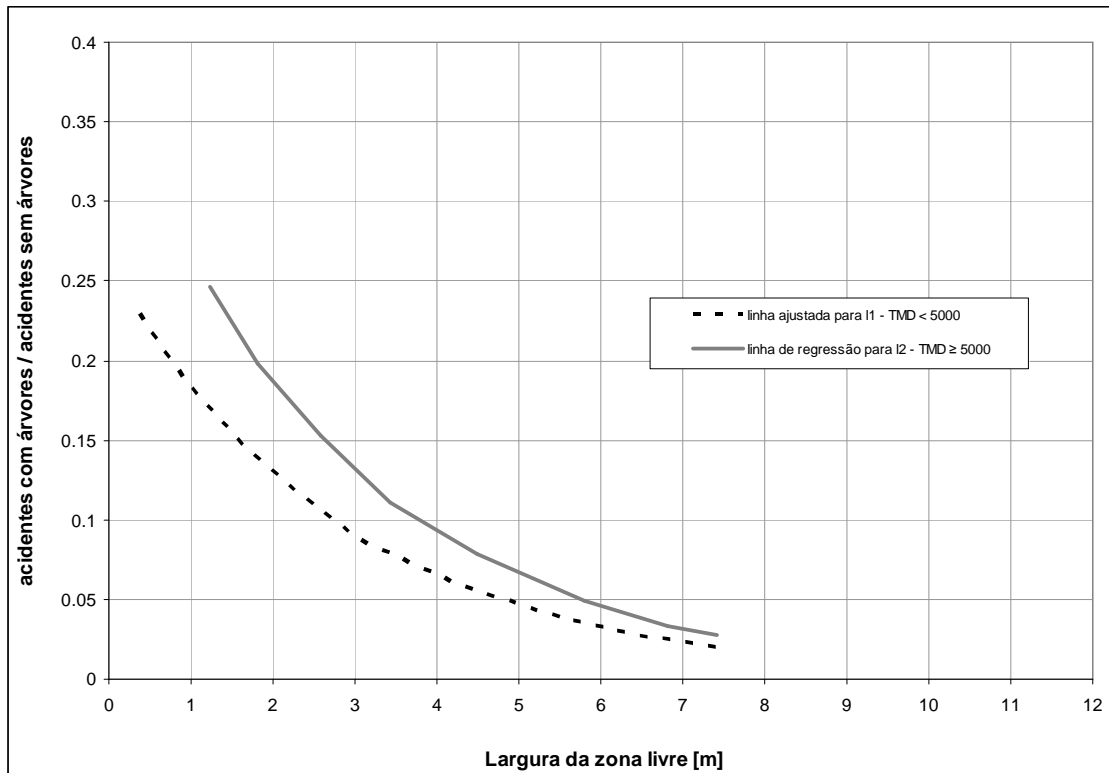


Figura 11 – Relação entre o risco de colisão com árvores e a distância da fila de árvores à berma em estradas rurais com uma faixa de rodagem (adaptado de [57]).

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 [57]:

- 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.

Mais recentemente, na década de 1990, nos EUA foram publicados os resultados de um estudo [41] 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 12).

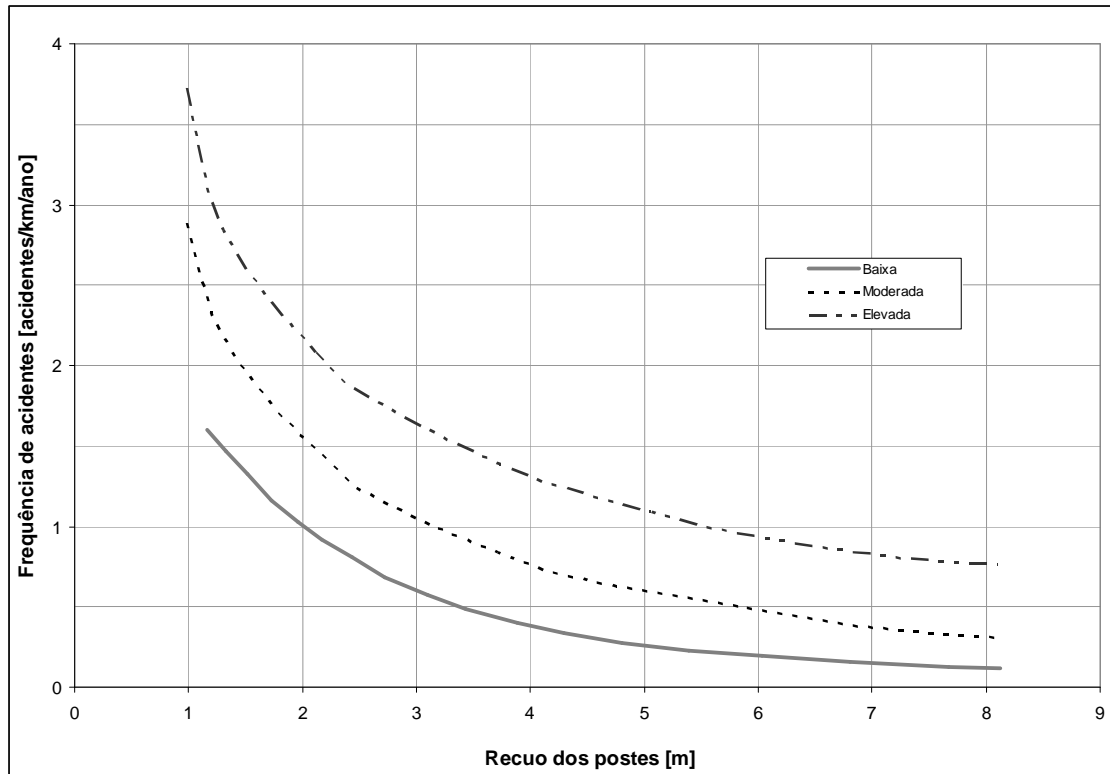


Figura 12 – Frequência média anual de acidentes envolvendo postes como função da densidade e recuo dos postes (adaptado de [41]).

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.

De acordo com McGee [41] a supressão, ou a remoção para locais mais afastados da faixa de rodagem, de obstáculos perigosos que se encontrem junto ao limite da faixa de rodagem resultará numa redução no número de acidentes, conforme se encontra expresso no Quadro 5. A percentagem de redução aplica-se independentemente das condições iniciais do local. Contudo, uma vez que nas estradas com zonas livres reduzidas ou inexistentes a

probabilidade de ocorrência de acidentes é maior que nas estradas com zonas livres mais largas, a redução de acidentes (em termos absolutos) será superior neste tipo de estradas.

Quadro 5 – Percentagem de redução de acidentes para aumentos da largura da zona livre (adaptado de [41]).

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. [19] cujos resultados se encontram tabelados no Quadro 6:

Quadro 6 – Efeito do aumento da largura da zona livre no número de acidentes (adaptado de [19]).

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)

3.3 Prática actual

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 7:

Quadro 7 – Características da zona de recuperação em estradas novas em França
(adaptado de [59, 61]).

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 8.

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

Quadro 8 – Características da zona de segurança em estradas novas em França
(adaptado de [59]).

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	
	Com “Pavimento I”	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 9 e Quadro 10), 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 [56], assim como estudos de outros países.

Quadro 9 – Largura da zona livre de obstáculos na Holanda (adaptado de [70]).

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” [50], define a largura da zona livre de obstáculos a considerar neste tipo de infra-estrutura.

Quadro 10 – Largura da zona livre de obstáculos em auto-estradas na Holanda
(adaptado de [50]).

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 [50], 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.

Segundo a mesma norma, ao aumento da velocidade de projeto em 10 km/h corresponde o aumento de, cerca de 1.5 metros, na distância lateral percorrida 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.

No que diz respeito aos taludes, os mesmos não são considerados obstáculos perigosos sempre que (ver Figura 13):

- 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

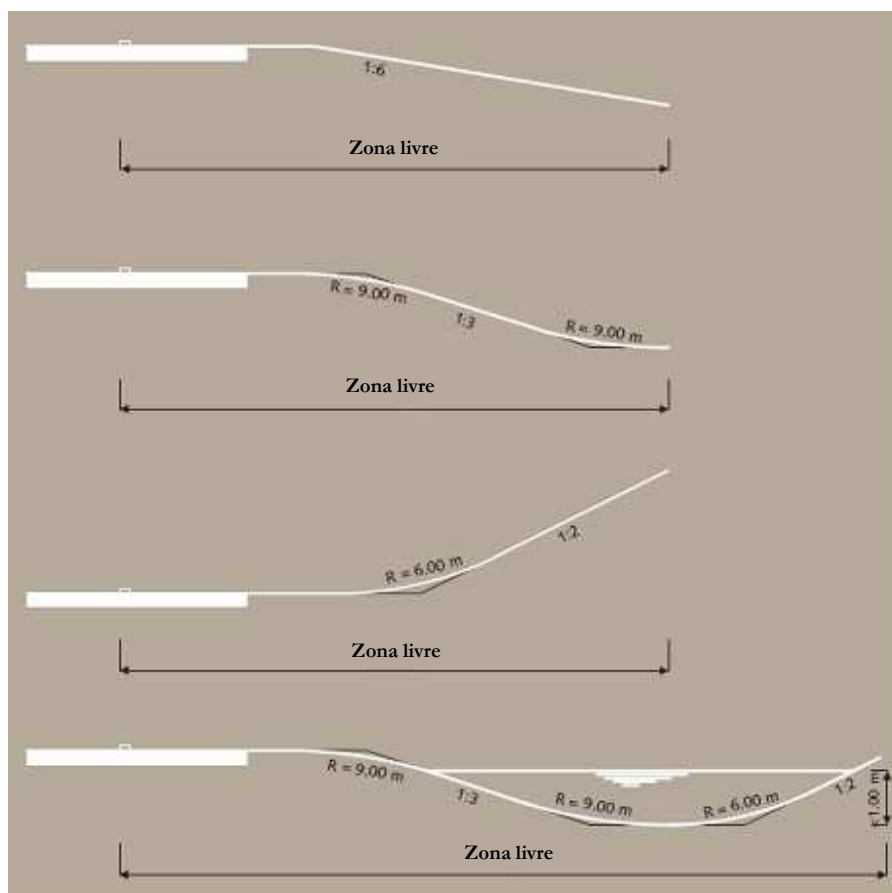


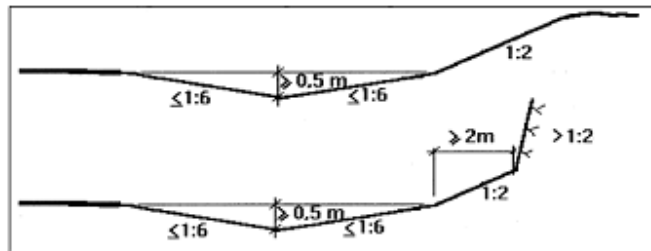
Figura 13 – Características da zona livre de obstáculos em auto-estradas na Holanda (adaptado de [50]).

Na Suécia existem actualmente três tipos de configurações para a AAFR [84]:

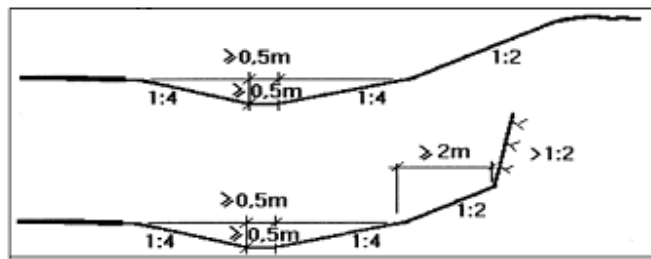
- Tipo A: com barreiras de segurança ou com amplas zonas de segurança com taludes suaves (com inclinações até 1V:6H), sem obstáculos perigosos numa largura de 10, 9 ou 6 metros consoante o limite de velocidade seja de 110, 90 ou 70 km/h respectivamente. Esta configuração requer a instalação de uma valeta drenante.
- Tipo B: igual à tipo A mas com taludes de 1V:4H e igualmente com valeta drenante;
- 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 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

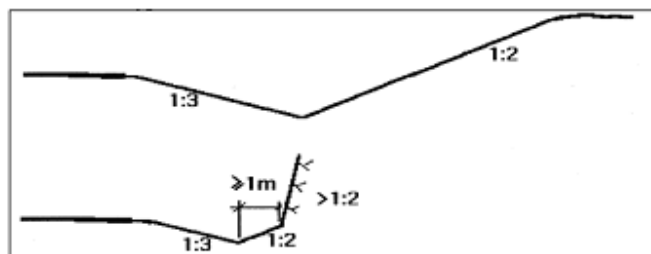


Figura 14 – Tipos de AAFR na Suécia (secção em escavação) [83].

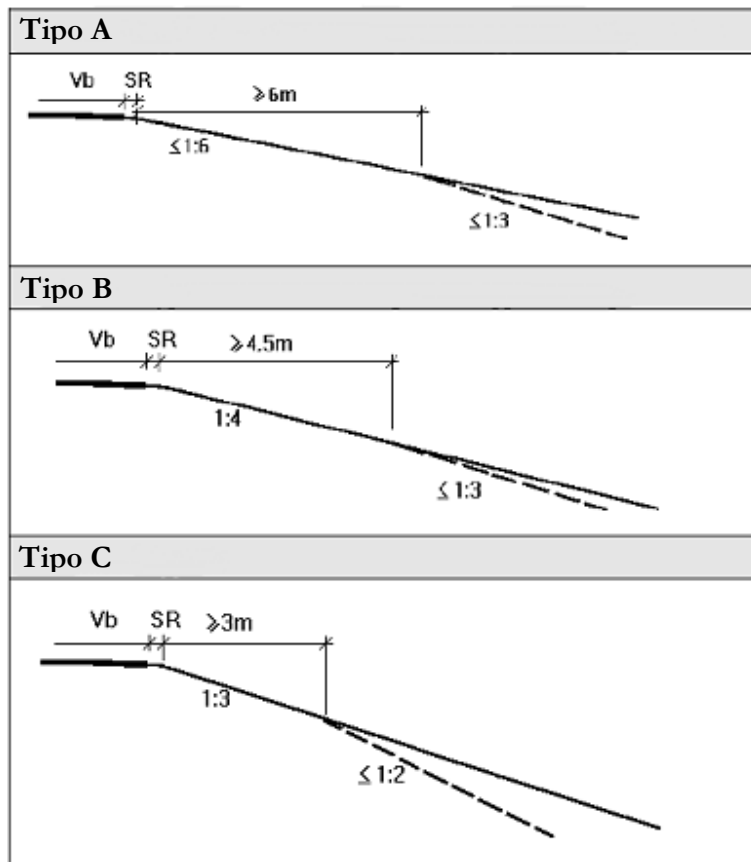


Figura 15 – Tipos de AAFR na Suécia (secção em aterro) [83].

A escolha do tipo de AAFR e das características da zona livre (ZL) 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 11 e no Quadro 12.

Quadro 11 – Critérios de selecção do tipo de AAFR na Suécia – perspectiva do condutor
(adaptado de [84, 83]).

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 12 – Critérios de selecção do tipo de AAFR na Suécia – eficiência
(adaptado de [84, 83]).

Limite de velocidade [km/h]	Tipo de estrada	Custos e frequência de acidentes (eficiência)
	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 13, 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 13.

Quadro 13 – Distância mínima (m) a obstáculo fixo sem barreira de segurança (secção de escavação em maciço rochoso) (adaptado de [84, 83]).

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 14.

Quadro 14 – Altura máxima de aterro e a distância mínima a precipícios (adaptado de [84, 83]).

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” [55] (concluído em 1998) e tendo por base um estudo elaborado por Schoon [56], 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 são de 3.5 metros quer para auto-estradas quer para estradas expresso. Portugal é, 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.

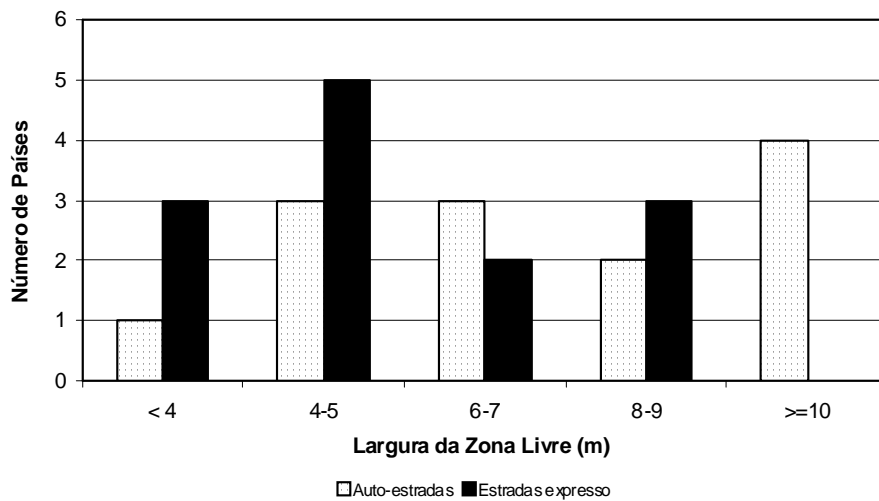


Figura 16 – Distribuição dos países com uma determinada largura para a zona livre de obstáculos para auto-estradas e estradas expresso de acordo com normas.

A lista das larguras da zona livre de obstáculos na Europa aqui apresentada no Quadro 15, 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 15 – Largura da zona livre de obstáculos na Europa (adaptado de [55]).

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*” [83] – guia publicado pela American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) e que serve de base aos documentos normativos estaduais – 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 17 e Quadro 16). É, no entanto, realçado que os valores constantes na figura e no quadro são valores aproximados. As curvas apresentadas na Figura 17 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.

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 16 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 16 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 recomendações americanas, a análise a fazer a uma situação concreta deve incluir a totalidade do traçado e os dados relativos à sinistralidade.

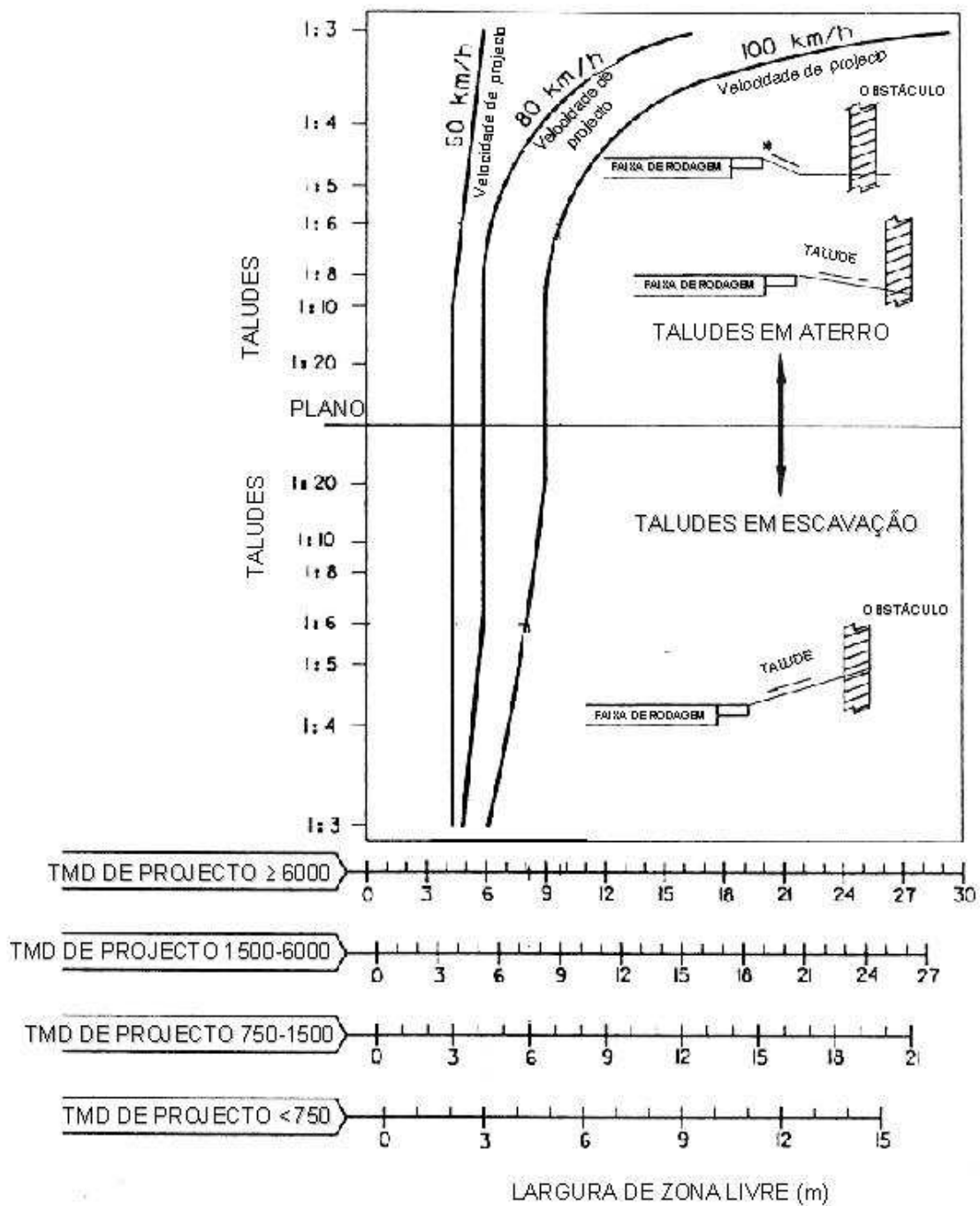


Figura 17 – Largura da zona livre (adaptado de [4]).

Quadro 16 – 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 17.

Ainda de acordo com o *Roadside Design Guide* [4], deverá modificar-se a largura de zona livre, obtida a partir da Figura 17 ou do Quadro 16, no caso de curvaturas horizontais utilizando o Quadro 17, para atender à maior probabilidade de despiste.

Quadro 17 – 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					

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

$$CZ_c = L_c \times K_{cz} \quad (3-1)$$

Em que:

- CZ_c = largura da zona livre no exterior da curva [m]
- L_c = largura de zona livre (ver Figura 17 ou Quadro 16)
- K_{CZ} = factor de correcção em curva

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.

Tomando como exemplo o documento normativo do Estado de Washington, *Design Manual*. [86], que tem por base o *Roadside Design Guide* [4], verifica-se que os valores de largura da zona livre de projecto ilustrados no Quadro 18 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 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 18 – Largura da zona livre de projecto (adaptado de [86]).

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 ou menos		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.

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 horizontalmente de 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 **(3-2)**).

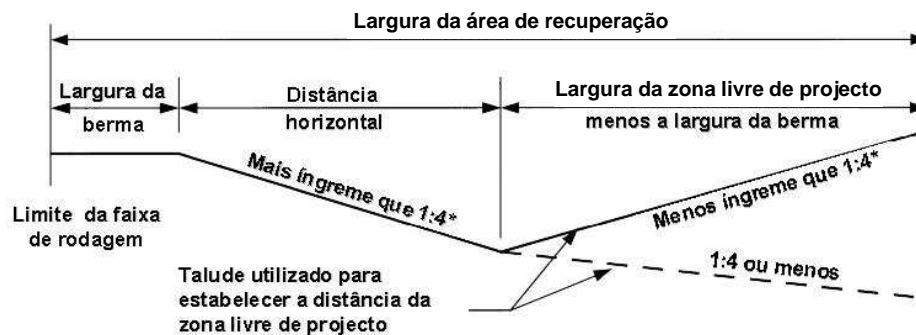
De acordo com o *Design Manual* [86], a dimensão da largura da zona livre de projecto depende do limite de velocidade imposto por sinalização vertical, da inclinação do talude e do volume de tráfego. No Quadro 18 não existem valores para taludes em aterro com uma inclinação de 1V:3H. De acordo com a 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

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 superiores a 1V:4H, mas não superiores a 1V:3H, são considerados irrecuperáveis.

berma, só a pode continuar numa área mais plana (1V:4H ou menos íngreme) no pé do talude. Nestas condições à zona livre de projecto dá-se o nome de área de recuperação.

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

$$\text{Largura da área de recuperação} = (\text{largura da berma}) + (\text{distância horizontal}) + (\text{largura da zona livre de projecto} - \text{largura da berma}) \quad (3-2)$$



* 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 da altura de aterro ser menor ou igual a 3.0 metros.

Figura 18 – Largura da área de recuperação (adaptado de [86]).

Por último, apresentam-se no Quadro 19 exemplos dos valores da largura mínima da zona livre adoptados em diversos países do mundo.

Quadro 19 – Largura da zona livre (m) (adaptado de [30]).

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
EUA	9	Para limites de velocidade de 120 km/h
Finlândia	7	Em auto-estradas
	5.5	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)
Holanda	13	Para velocidade de operação = 120 km/h
	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 auto-estradas (berma pavimentada com 3.3 m e 1.2 m de zona atravessável)
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

4 SISTEMAS DE RETENÇÃO DE VEÍCULOS

Os sistemas de retenção de veículos são dispositivos instalados na estrada para fornecerem um determinado nível de retenção a um veículo descontrolado [20], sendo actualmente dimensionados para diferentes níveis de funcionamento, os quais são definidos, de acordo com as normas de desempenho em vigor [20, 21, 33, 34], atendendo a três características: a retenção, a gravidade do impacto e a deformabilidade do dispositivo.

As intervenções para melhoria da segurança rodoviária da AAFR terão de contemplar – em determinados trechos ou pontos singulares do traçado onde não seja eficiente disponibilizar uma zona livre adequada – a instalação de dispositivos que evitem a entrada de veículos em zonas mais perigosas que os próprios dispositivos.

Não obstante, os sistemas de retenção de veículos deverão ser usados como último recurso para proteger o tráfego dos obstáculos perigosos existentes na zona da estrada. A presença destes dispositivos representa a aceitação pelo projectista de que a eliminação de um obstáculo perigoso é prática ou economicamente inviável, e que é necessário proteger o tráfego desse mesmo obstáculo. O elevado número de mortos em acidentes com objectos fixos, nos quais as colisões com barreiras de segurança são consideradas a situação mais perigosa [56], demonstra que esta protecção não é uma solução totalmente eficaz do ponto de vista da segurança.

É pois importante não esquecer que estes sistemas representam obstáculos que podem ser atingidos por um veículo. Contudo, são concebidos, construídos e testados com a garantia de que qualquer colisão com os mesmos será menos grave do que uma colisão, de características dinâmicas equivalentes, com um obstáculo perigoso localizado na AAFR.

De acordo com as normas europeias CEN [20, 21], podem distinguir-se duas classes de sistemas de retenção rodoviários em função do tipo de elemento a proteger: os sistemas de retenção de veículos, objecto de análise neste capítulo; e os sistemas de retenção para peões. Os primeiros podem ainda subdividir-se nas seguintes categorias: barreiras de segurança;

muros de guarda para veículos; amortecedores de choque; terminais e transições. Os sistemas de retenção para peões incluem muros de guarda para peões e guarda-corpos para peões.

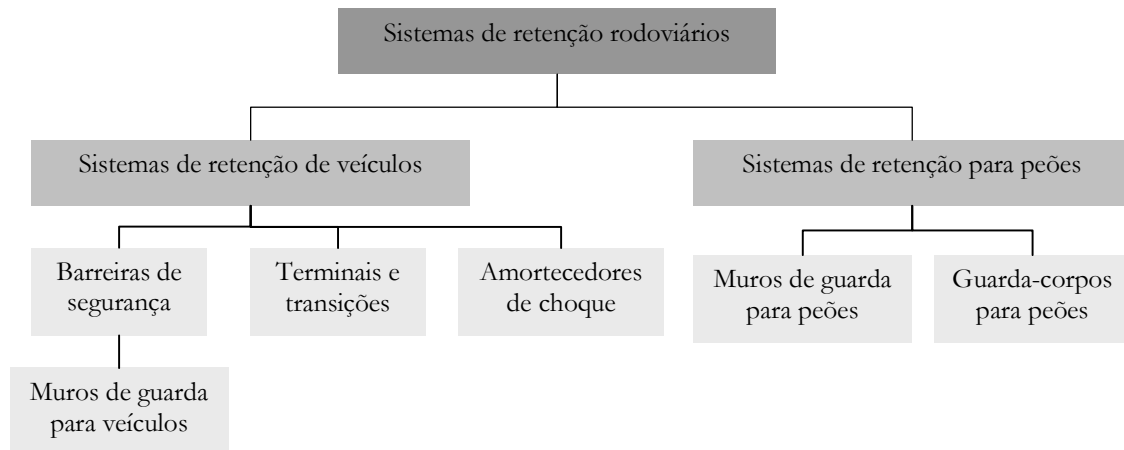


Figura 19 – Tipos de sistemas de retenção rodoviários (adaptado de [20]).

4.1 Normas de desempenho

Actualmente, as barreiras de segurança instaladas na rede rodoviária são previamente submetidas a ensaios de choque, no âmbito das respectivas homologações à luz das normas CEN. Esta medida tem permitido uma redução nos valores da gravidade das consequências dos acidentes envolvendo este tipo de equipamento. Apesar disso, é necessário realçar que as condições ideais de instalação e impacto simuladas nas pistas de testes correspondem a conjuntos de características dinâmicas dos embates que raramente se verificam exactamente nos acidentes que ocorrem na rede. Por outro lado, subsistem muitos quilómetros de barreiras antiquadas, colocadas antes da aprovação das actuais normas, e que ainda não foram substituídas ou beneficiadas.

Os objectivos das Normas Europeias EN 1317 – Sistemas de retenção das estradas [20,21,33,34] e EN 12767 – Segurança passiva das estruturas de suporte do equipamento rodoviário [22], são, por um lado, fornecer um sistema comum de teste e informação acerca dos sistemas de retenção das estradas e, por outro, fornecer informação clara acerca das características de funcionamento dos sistemas, relevantes quer para o projecto de estradas

quer para a previsão da gravidade dos ferimentos nos ocupantes dos veículos que com eles embatam.

A actual Norma Europeia EN 1317 compreende cinco partes relevantes para o dimensionamento dos sistemas de retenção susceptíveis de instalação na AAFR. As partes 1 a 4 descrevem como é determinado o nível de desempenho de diferentes sistemas de retenção de veículos de acordo com os ensaios de choque de veículos a que são sujeitos. A parte 5 diz respeito à durabilidade e avaliação da conformidade dos produtos que compõem os sistemas de retenção. A parte 6 aplica-se na protecção dos peões relativamente ao tráfego.

A actual Norma Europeia EN 1317 é, assim, composta pelas seguintes Partes:

- Parte 1: Terminologia e critérios gerais dos métodos de ensaio;
- Parte 2: Classes de desempenho, critérios de aceitação do ensaio de choque e métodos de ensaio para barreiras de segurança;
- Parte 3: Amortecedores de choque – classes de desempenho, critérios de aceitação dos ensaios de choque e métodos de ensaio;
- Parte 4 – Classes de desempenho, critérios de aceitação dos ensaios de choque e métodos de ensaio para terminais e transições de barreiras de segurança;
- Parte 5 – Requisitos, durabilidade e avaliação da conformidade dos produtos;
- Parte 6 – Sistemas de retenção para peões, guardas de protecção para peões.

De acordo com o Regulamento Interno do CEN¹¹/CENELEC, são obrigados a adoptar esta Norma Europeia os organismos nacionais de normalização dos seguintes países: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Irlanda, Islândia, Itália, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Baixos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça [34].

A Norma Europeia EN 12767 define os métodos de ensaio de choque e os requisitos para testar a segurança passiva das estruturas de suporte do equipamento rodoviário como, por exemplo, postes de iluminação ou pórticos de sinalização.

¹¹ Comité Europeu de Normalização

Os critérios utilizados na Norma Europeia EN 1317 para avaliação de desempenho dos sistemas de retenção de veículos, para definição dos seus limites de aceitação e para identificação das classes técnicas dos mesmos são os seguintes:

- Nível de retenção;
- Nível de gravidade do embate;
- Deformabilidade;
- Ensaio ao comportamento do veículo.

Para a aplicação dos referidos critérios são realizados ensaios de choque com veículos de ensaio cujas características se encontram definidas na referida norma. Dependendo da finalidade do sistema, a massa do veículo de ensaio pode variar entre 900 kg e 38000 kg. Outras características do veículo, tal como a altura do centro de gravidade, são especificadas para cada tipo de veículo. A velocidade e o ângulo de embate são igualmente definidos para as diferentes categorias de ensaio e para os diferentes tipos de veículos.

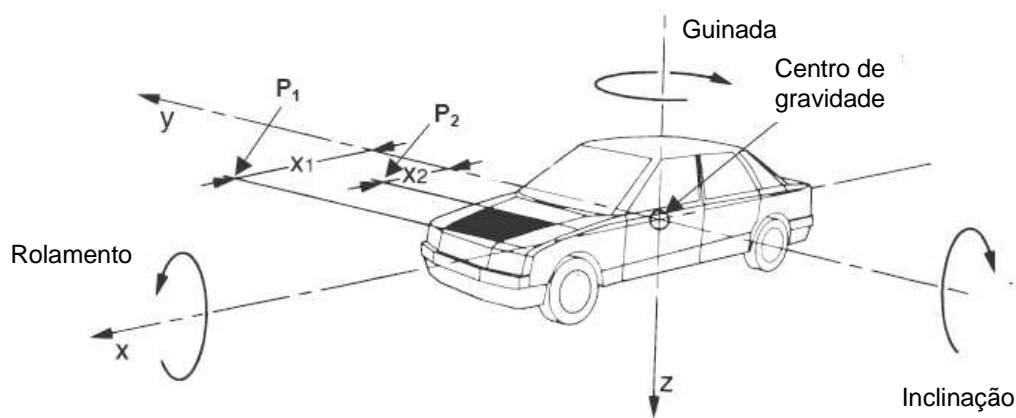


Figura 20 – Centro de gravidade do veículo de ensaio (adaptado de [20]).

4.1.1 Nível de retenção

O nível de retenção corresponde à capacidade do sistema para redireccionar um veículo de ensaio com uma determinada massa, velocidade e ângulo de embate. Refira-se que o nível de retenção indica, em termos de energia cinética, a máxima capacidade de carga do sistema, ou seja, corresponde ao ensaio com o veículo mais pesado.

Complementarmente, é feito um ensaio com um veículo de pequenas dimensões (900 kg) de forma a garantir a protecção adequada aos ocupantes de um veículo ligeiro.

Assim, o nível de retenção indica a carga máxima a que um sistema pode ser sujeito, garantido eficaz protecção para veículos de menores dimensões. O adequado comportamento do sistema pressupõe que o veículo de ensaio nunca o penetra ou ultrapassa. O sistema deve conter ou redireccionar o veículo de ensaio de forma previsível e controlada.

A Norma Europeia EN1317 estabelece que um sistema de retenção de veículos testado e que cumpra o nível de retenção pretendido também é aplicável em níveis de menor retenção. O nível de retenção de um sistema pode ser determinado a partir das condições de ensaio descritas nos dois quadros seguintes.

No Quadro 20 é feita a descrição das configurações de teste para os diferentes tipos de veículo, de velocidade e de ângulo de embate. O Quadro 21 fornece as combinações de testes que definem os diferentes níveis de retenção de barreiras de segurança. É disponibilizada na Norma Europeia EN1317 informação semelhante para amortecedores de choque, terminais e transições de barreiras de segurança.

Quadro 20 – Critérios de embate do veículo de ensaio (adaptado de [21]).

Teste	Velocidade de embate (km/h)	Ângulo de embate (°)	Massa do veículo (kg)	Tipo de veículo
TB 11	100	20	900	Automóvel
TB 21	80	8	1300	Automóvel
TB 22	80	15	1300	Automóvel
TB 31	80	20	1500	Automóvel
TB 32	110	20	1500	Automóvel
TB 41	70	8	10000	Veículo pesado rígido
TB 42	70	15	10000	Veículo pesado rígido
TB 51	70	20	13000	Autocarro
TB 61	80	20	16000	Veículo pesado rígido
TB 71	65	20	30000	Veículo pesado rígido
TB 81	65	20	38000	Veículo pesado articulado

Quadro 21 – Níveis de retenção de barreiras de segurança (adaptado de [21]).

Nível de retenção	Ensaio de aceitação
Retenção num ângulo fechado ⁽¹⁾	
T1	TB 21
T2	TB 22
T3	TB 41 e TB 21
Retenção normal	
N1	TB 31
N2	TB 32 e TB 11
Retenção mais elevada	
H1	TB 42 e TB 11
H2	TB 51 e TB 11
H3	TB 61 e TB 11
Retenção muito elevada	
H4a	TB 71 e TB 11
H4b	TB 81 e TB 11

⁽¹⁾ Nota 1: Só devem ser utilizados em guardas de segurança temporárias.

Nota 2: Com exceção dos níveis N1 e N2, que não incluem T3, a satisfação de um nível de retenção, pressupõe a satisfação dos níveis mais baixos.

Nota 3: Os níveis H4a e H4b não têm relação hierárquica

4.1.2 Gravidade do embate

A gravidade do embate é definida como o risco de lesão para os ocupantes do veículo. São utilizadas três variáveis na avaliação deste risco, baseadas essencialmente nas acelerações medidas no centro de gravidade do veículo. Para além destas variáveis é fornecido um outro – índice de deformação da cabina do veículo (VCDI) – que serve como informação ao utilizador final, para que este possa conhecer melhor o desempenho do sistema.

Assim, a gravidade do embate é calculada pelos índices seguintes:

- *Índice de gravidade da aceleração (ASI)*, que representa a relação entre velocidade de uma viatura no momento do impacto e a gravidade de uma possível colisão de um ocupante do veículo, sentado na proximidade de um determinado ponto, com um objecto que aí estivesse. O ASI é função do tempo, calculado utilizando uma equação baseada nos valores limites de aceleração durante um intervalo de tempo de 50 ms.
- *Velocidade de impacto da cabeça teórica (THIV)*, que permite avaliar a gravidade para um ocupante do impacto da viatura: considera-se a cabeça do ocupante como um objecto com possibilidade de movimento livre que, à medida que a velocidade da viatura diminui durante o impacto com um obstáculo, continua a mover-se até embater no interior do habitáculo, com uma determinada velocidade que corresponde àquele critério. O objectivo do THIV é o de indicar o risco de lesão para um ocupante sem cinto de segurança dentro do veículo, procurando desta forma recriar os movimentos da sua cabeça.
- *Desaceleração pós-impacto da cabeça (PHD)*, que decorre da continuação do cenário descrito para o cálculo do THIV: admite-se que, após o impacto da cabeça com o interior do habitáculo, esta fica em contacto com a superfície embatida e que, por isso, a partir desse momento, é sujeita às mesmas desacelerações que o habitáculo. Assim, na altura em que o THIV é calculado, as desacelerações do veículo são monitorizadas, sendo registados os valores máximos da aceleração lateral e longitudinal do veículo. O objectivo do PHD é medir a intensidade da força sobre o ocupante na fase do choque em que este está em contacto com a cabina.

Complementarmente é medida a deformação da cabina, através do índice de deformação da cabina do veículo (VCDI). Este índice descreve o quanto as superfícies interiores da cabina são deformadas para o interior do veículo em direcção aos ocupantes. Esta redução do espaço do compartimento reservado aos ocupantes do veículo está fortemente relacionada com as lesões por eles sofridas.

A EN 1317 classifica a gravidade do embate em três classes, de acordo com o Quadro 22:

Quadro 22 – Níveis de gravidade do embate de acordo com a EN1317 (adaptado de [21]).

Nível de gravidade do embate	Valores dos índices		
A	ASI ≤ 1,0	e	THIV ≤ 33km/h
B	ASI ≤ 1,4		
C	ASI ≤ 1,9		

O nível A confere um nível de segurança para os ocupantes maior do que o nível B, e o nível B maior nível de segurança que o nível C. Sob igualdade de outras condições, deve ser preferido o maior nível de segurança.

4.1.3 Deformabilidade

A deformabilidade de um sistema de retenção de veículos é expressa pela sua largura útil e deflexão dinâmica, sendo estas variáveis registadas durante o ensaio de choque. A Figura 21 ilustra os parâmetros de interesse durante um ensaio de choque. A largura útil (W) é a distância entre o lado do sistema de retenção virado para o tráfego e a posição dinâmica lateral máxima de qualquer parte importante do sistema. Se a carroçaria do veículo se deformar sobre o sistema de retenção, impossibilitando que este possa ser usado com a finalidade de medir a largura útil, a posição lateral máxima de qualquer parte do veículo deve ser tomada como alternativa.

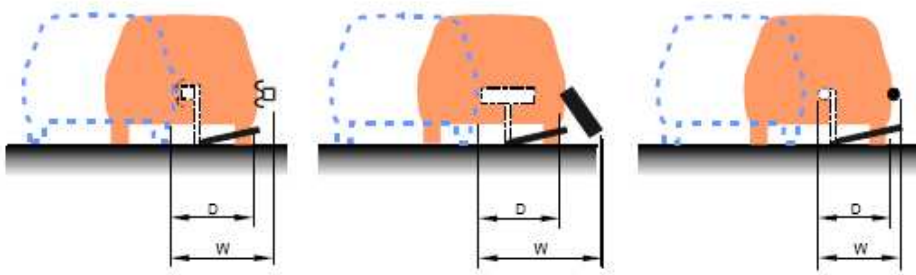


Figura 21 – Valores medidos de deflexão dinâmica (D), largura útil (W) [18].

Durante os ensaios de choque que envolvem autocarros e veículos pesados de mercadorias, as posições da extremidade lateral do sistema e da extremidade lateral do veículo de ensaio são registadas separadamente no relatório de ensaio. A deflexão dinâmica (D) é o deslocamento dinâmico lateral máximo do sistema de retenção no lado virado para o tráfego. Para os sistemas de retenção mais estreitos, a deflexão dinâmica pode ser difícil de medir e, se for esse o caso, pode ser tomada a largura útil como valor para a deflexão dinâmica. O objectivo destas medidas é o de identificar o espaço lateral necessário para que o sistema funcione adequadamente. Caso contrário, se o sistema estiver instalado na proximidade de um obstáculo perigoso – estando este dentro da largura útil do sistema – poderá não proteger adequadamente os veículos do obstáculo, por contacto com o obstáculo durante um embate.

A EN 1317 classifica os níveis de largura útil de um sistema em oito classes, de acordo com o Quadro 23:

Quadro 23 – Níveis de largura útil de acordo com a EN1317 (adaptado de [21]).

Classes de níveis de largura útil	Níveis de largura útil (m)
W1	$W \leq 0,6$
W2	$W \leq 0,8$
W3	$W \leq 1,0$
W4	$W \leq 1,3$
W5	$W \leq 1,7$
W6	$W \leq 2,1$
W7	$W \leq 2,5$
W8	$W \leq 3,5$

Nota 1: Pode ser especificada uma classe de nível de largura útil inferior a W1

Nota 2: A deflexão dinâmica e a largura útil permitem determinar as condições necessárias à instalação de cada sistema de retenção (por exemplo as distâncias livres entre obstáculos e a guarda)

Nota 3: A deformação depende do tipo de sistema de retenção e das características do ensaio de colisão

4.1.4 Ensaio ao comportamento do veículo

Sendo a finalidade de um sistema de retenção de veículos a contenção e o redireccionamento um veículo descontrolado, não faria sentido que dos movimentos do mesmo durante o ensaio resultassem condições perigosas para os seus ocupantes.

Assim, o comportamento do veículo durante um ensaio de choque deve cumprir os seguintes requisitos:

- O centro de gravidade do veículo não deve cruzar o eixo do sistema deformado;
- O veículo não pode capotar durante ou após o embate, apesar de serem aceitáveis deslizamentos, perdas de contacto com o solo e guinadas moderadas.

Após o embate, o veículo deve sair da barreira de segurança de modo a que as suas rodas se encontrem dentro de uma área de saída previamente delimitada (Figura 22). Esta área de saída é determinada tendo por base os pontos de contacto na barreira e o tamanho do veículo de ensaio.

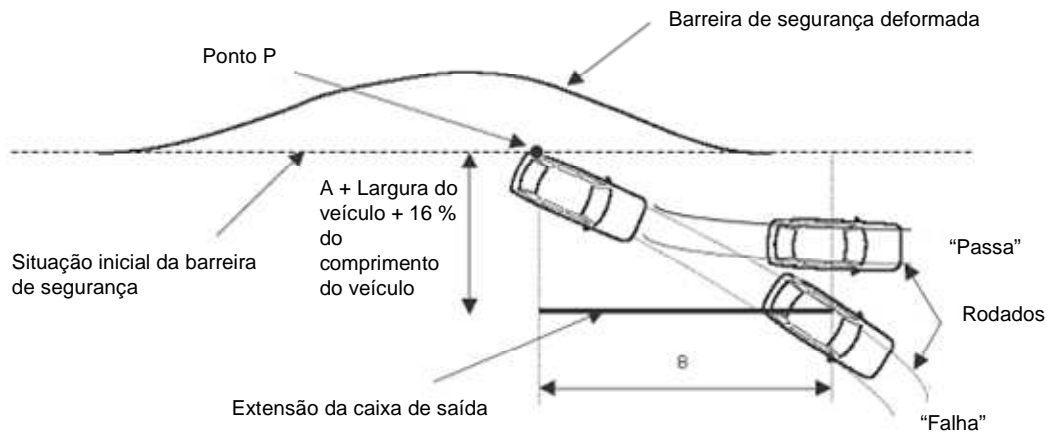


Figura 22 – Trajectória do veículo de ensaio (adaptado de [21]).

4.2 Comparação com as normas NCHRP

Em simultâneo com a primeira versão da Norma Europeia EN 1317, na década de 1990, o National Cooperative Highway Research Program¹² (NCHRP) produziu, nos Estados Unidos da América, um relatório com características semelhantes denominado NCHRP 350 [45]. Posteriormente, a Federal Highway Administration (FHWA), aprovou o documento como norma através de processo legislativo federal. À data, foram promovidos encontros entre o CEN e o NCHRP com o objectivo de encontrar maneiras de harmonizar estes dois documentos. No entanto, os prazos de entrega dos documentos, previamente agendados, impediram o desenvolvimento de um acordo de fundo. Ainda assim, com base no interesse manifestado pelos organismos envolvidos, espera-se que, pelo menos para certos elementos do processo de ensaio e avaliação, normas comuns venham a ser adoptadas no futuro. É igualmente de referir que são vários os países que seguem a NCHRP 350, nomeadamente, Austrália e Nova Zelândia [5], Canadá [7] e África do Sul [14].

No Quadro 24 é feita uma análise comparativa dos requisitos de ensaio da EN 1317 e da NCHRP 350 no que diz respeito aos níveis de retenção dos sistemas.

¹² Entidade administrada pelo Transportation Research Board (TRB) e patrocinada pelos “member departments” da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), em cooperação com a Federal Highway Administration (FHWA).

Quadro 24 – Comparação dos requisitos de ensaio da EN 1317 e da NCHRP 350 (adaptado de [21, 45]).

EN 1317					NCHRP 350				
Nível de retenção	Massa do veículo (kg)	Velocidade de embate (km/h)	Ângulo de embate (°)	Energia cinética do embate (kJ)	Nível de retenção	Massa do veículo (kg)	Velocidade de embate (km/h)	Ângulo de embate (graus)	Energia cinética do embate (kJ)
T1	1300	80	8	6.2					
T2	1300	80	15	21.5					
T3	1300	80	8	6.2					
	10000	70	8	36.6					
					0	820	50	20	9.3
						1600	50	25	27.6
					1	820	50	20	9.3
						2000	50	25	34.5
					2	820	70	20	18.1
						2000	70	25	67.5
N1	1500	80	20	43.3					
N2	900	100	20	40.6	3	820	100	20	37
	1500	110	20	81.9		2000	100	25	137.8
					4	820	100	20	37
						8000	80	15	132.3
H1	900	100	20	40.6					
	10000	70	15	126.6					
H2	900	100	20	40.6					
	13000	70	20	287.5					
H3	900	100	20	40.6					
	16000	80	20	462.1					
H4a	900	100	20	40.6					
	30000	65	20	572					
					5	820	100	20	37
						36000	80	15	595.4
H4b	900	100	20	40.6	6	820	100	20	37
	38000	65	20	724.6		36000	80	15	595.4

É de destacar que no âmbito do Project 22-14 "Improvement of Procedures for the Safety-Performance Evaluation of Roadside Features" do NCHRP, foi recentemente conduzida uma análise aprofundada do NCHRP 350, para determinar a necessidade de alterações ao documento (por exemplo, a revisão de alterações na frota dos veículos de ensaio a partir dos dados de vendas de veículos nos E.U.A.) e propor aditamentos aos procedimentos de avaliação de desempenho. Foi igualmente realizada uma avaliação dos efeitos esperados associados a estas alterações.

O projecto foi parcialmente concluído em 2008 e da revisão dos procedimentos dos ensaios de choque resultará uma publicação AASHTO. Os novos procedimentos foram já

escrutinados pelos Comités AASHTO competentes e aprovados para publicação, prevendo-se a futura publicação do documento.

4.3 Selecção de sistemas de retenção de veículos

Os sistemas de retenção de veículos são utilizados fundamentalmente para proteger os ocupantes dos veículos do embate contra obstáculos perigosos ou contra os veículos a circular na faixa de rodagem contrária. A EN 1317, anteriormente referida, resulta da muita pesquisa e investigação realizada na Europa ao longo de vários anos e que permitiu desenvolver uma forma padrão de ensaiar e avaliar o desempenho destes sistemas. A EN 1317 permite a comparação entre sistemas ensaiados sob as mesmas condições e actua como um teste para determinar e distinguir os bons sistemas dos inadequados.

Contudo, nenhum impacto de um veículo contra uma barreira é igual a outro. Os veículos diferem em massa, forma e rigidez, e embatem nos sistemas a velocidades e ângulos diferentes. O teste de uma barreira de acordo com a EN 1317 não permite descrever o seu comportamento quando colidida por todos os veículos descontrolados; mas indicia qual será o seu desempenho na maioria dos casos. O desempenho da barreira em caso de choque varia de acordo com um conjunto de parâmetros contextuais, nomeadamente o local de instalação, as condições do solo e as considerações ambientais, sendo igualmente importante considerar o ciclo de vida da barreira.

A necessidade da instalação de sistemas de retenção de veículos é habitualmente determinada em função de um conjunto de características da estrada e da envolvente rodoviária, em que estes sistemas se integram. Exemplos destas características são: a velocidade média do tráfego, a largura das vias, a largura da área pavimentada e a largura e tipo de berma. Também a presença de valas na AAFR ou de obstáculos fixos nesta área contribuem para esta necessidade.

Diversos países desenvolveram recomendações para apoiar a avaliação da necessidade de colocação destes sistemas, principalmente no que diz respeito às barreiras de segurança, e

para a selecção dos equipamentos mais vantajosos em cada situação. Neste âmbito, são já vários os países europeus cujas normas e recomendações se encontram ajustados à Norma Europeia EN 1317, definindo os critérios de colocação, de selecção do nível de retenção e de comprimento mínimo das guardas em função das características da estrada e do ambiente rodoviário de acordo com os mesmos.

Os critérios de selecção podem assim dividir-se em três grupos:

- Critérios de colocação;
- Critérios de escolha do nível de retenção;
- Critérios relativos ao comprimento necessário das guardas de segurança.

No Quadro 25 são identificados os tipos de critérios de instalação constantes da normativa internacional analisada [4, 5, 7, 13, 14, 16, 17, 18, 24, 29, 32, 35, 39, 43, 44, 46, 60, 62, 63, 72, 74, 83].

Quadro 25 – Definição de critérios de instalação.

	País	Critérios		
		Necessidade de colocação	Nível de retenção	Comprimento mínimo
EN 1317	Alemanha	•	•	•
	Espanha	•	• ^(a)	•
	França	•	•	•
	Holanda	•	•	•
	Irlanda	•	•	•
	Itália	•	•	•
	Noruega	•	•	•
	Portugal	•		
	Reino Unido	•	•	•
	Suécia	•	•	•
	NCHRP 350	África do Sul	•	
Austrália		•	•	•
Canadá		•		•
EUA		•	•	•
Nova Zelândia		•	•	

^(a) Definido de acordo com a EN1317 apenas para barreiras de segurança metálicas

No quadro anterior – e nos Quadros 27 a 29 – os países analisados foram organizados em dois grupos: o primeiro corresponde aos países que adoptaram a norma EN 1317 e o segundo àqueles que seguem a norma NCHRP 350.

4.4 Aspectos a considerar na transposição para estradas portuguesas

Em resultado da análise das práticas adoptadas nos vários países analisados e das propostas resultantes do projecto RISER [51, 53] foi possível delinear um conjunto de procedimentos para a abordagem do problema da colocação de sistemas de retenção em estradas portuguesas. Os procedimentos seguidamente descritos só se aplicam quando o obstáculo perigoso a ser intervencionado não pode ser removido da área de recuperação ou substituído por uma estrutura frágil (isto é, passivamente segura). O mérito dos procedimentos descritos seguidamente será avaliado, no âmbito do projecto SAFESIDE, através dos estudos previstos nas respectivas tarefas WP3 a WP5.

A metodologia desenvolve-se em quatro passos:

- Identificação dos obstáculos perigosos que devem ser considerados. Este passo será determinante na avaliação da necessidade de instalação de um sistema de retenção e na definição da sua tipologia, nomeadamente na distinção entre a protecção de um perigo pontual ou linear;
- Determinação do nível de retenção do sistema;
- Determinação da largura útil do sistema, através da localização transversal dos obstáculos perigosos;
- Determinação do comprimento do sistema com base nas dimensões do obstáculo perigoso.

4.4.1 Identificação dos obstáculos perigosos

Um aspecto importante no dimensionamento de uma AAFR segura corresponde à identificação dos obstáculos perigosos que podem ser atingidos por veículos descontrolados

[53]. Para além da segurança dos ocupantes dos veículos, as lesões ou danos provocados em terceiros requerem uma atenção especial. Vias-férreas, edifícios particularmente sensíveis (por exemplo, escolas ou hospitais) e armazéns com mercadorias perigosas encontram-se, frequentemente, próximos de estradas e susceptíveis de serem colididos por veículos descontrolados. O impacto de um veículo com estas estruturas pode levar a lesões e danos que vão para além daqueles que dizem respeito aos ocupantes do veículo. Naturalmente, o tipo de obstáculo perigoso irá assim influenciar os critérios de instalação dos sistemas de retenção.

As principais informações que devem ser obtidas são:

- Onde se encontram localizados os obstáculos e áreas sensíveis em relação à estrada?
- Quais são as consequências do impacto com esse obstáculo para os passageiros de um veículo descontrolado?
- Quais são as dimensões do obstáculo?
- Quais são as consequências da ruína do obstáculo ou da invasão da zona por um veículo?

A distância dos obstáculos relativamente à faixa de rodagem é a primeira questão a ser analisada. Para tal, a zona de livre para o trecho de estrada em análise deverá ser previamente identificada, permitindo desta forma focar a atenção no levantamento de todos os obstáculos perigosos existentes num corredor adjacente à faixa de rodagem.

Em caso de colisão, as características do obstáculo perigoso influenciam directamente o risco de lesões e danos materiais, afectando dessa forma a selecção do nível de retenção do sistema.

4.4.2 Avaliação da necessidade de colocação e selecção do nível de retenção

Após a identificação dos obstáculos perigosos que podem ser atingidos por um veículo descontrolado é necessário estabelecer critérios para determinar a necessidade de colocação

dos sistemas de retenção de veículos. O Quadro 26 sumariza alguns desses critérios, referentes a diversos países.

Quadro 26 – Exemplos de critérios para a colocação de barreiras de segurança
(adaptado de [48]).

País	Critério
África do Sul	Em estradas rurais, as barreiras são utilizadas em taludes mais íngremes que 1:4 quando justificado por uma análise económica.
Alemanha	Os factores a considerar incluem o traçado, a inclinação da berma, a distância ao obstáculo, e as características e tipo de obstáculo.
China	Utilizam-se barreiras quando a velocidade de projecto é igual ou superior a 80 km/h.
Dinamarca	A justificação para a colocação de barreiras de segurança inclui objectos fixos com uma zona livre abaixo de 3.0 m para velocidades iguais ou inferiores a 80 km/h ou 9 m para velocidades iguais ou superiores a 90 km/h; diminuição da cota superior a 1.0 m ou uma profundidade de água superior a 1.0 m; os mesmos critérios são utilizados para linhas de caminhos-de-ferro, aterros, etc.
EUA	A justificação para a colocação de barreiras de segurança baseia-se na velocidade dos veículos, nos volumes de tráfego, nas características da zona livre, no tipo de obstáculo perigoso, no número e gravidade de acidentes esperados, e na análise custo-eficácia.
Grécia	Utiliza as normas alemãs, a experiência, ou a recomendação do projectista ou da polícia.
Japão	A decisão da instalação é baseada nas condições da estrada e do tráfego para: <ul style="list-style-type: none"> – Certas combinações de altura e inclinação de aterro; – Saliências rochosas na face do talude, e – Proximidade do mar, lago, rio, canal, etc.
Polónia	A utilização de barreiras é limitada aos locais onde uma potencial colisão com uma barreira seja menos severa do que uma colisão com um aterro existente ou com uma obstrução lateral.
Reino Unido	A justificação para barreiras de segurança inclui separadores centrais em todas as auto-estradas e itinerários principais, alturas de aterros superiores a 4.0 m, ou água ou outro obstáculo perigoso existente até 4.5 m da estrada pavimentada.
República Checa	A justificação inclui altura superior a 4.0 m, talude com inclinação superior a 1V:3H em zonas de aterro, proximidade de lagos, etc.
Suécia	A utilização das barreiras é baseada nas estimativas de acidentes previsíveis e das respectivas consequências, considerando o traçado da estrada e a envolvente. A justificação para a colocação de barreiras de segurança é definida através da velocidade de projecto para as categorias de taludes, diminuição da cota, cursos de água rochas e objectos rígidos.

Em Portugal, de acordo com a norma de traçado da Junta Autónoma de Estradas [35], a colocação de barreiras de segurança nas bermas é aconselhada para evitar a colisão com obstáculos situados a menos de 3.5 metros das bermas. Sempre que a inclinação dos taludes seja superior a 2:3 e a sua altura superior a 3.0 metros devem ser colocadas guardas.

De acordo com a mesma norma, nos casos em que existam cursos de água, vias-férreas ou estradas adjacentes aos taludes de aterro, devem também ser previstas guardas de segurança.

Ainda de acordo com a referida norma, a necessidade de barreiras de segurança pode ser fixada com base no ábaco da Figura 23, em função da inclinação do talude, da altura do aterro, das características do traçado e das condições climáticas mais desfavoráveis previsíveis. De acordo com este ábaco, deverão ser previstas barreiras de segurança nos taludes de aterro desde que:

- $TMD \leq 2000$ e $IS \geq 70$
- $TMD > 2000$ e $IS \geq 50$

em que IS (índice de segurança) é determinado pelo mesmo diagrama.

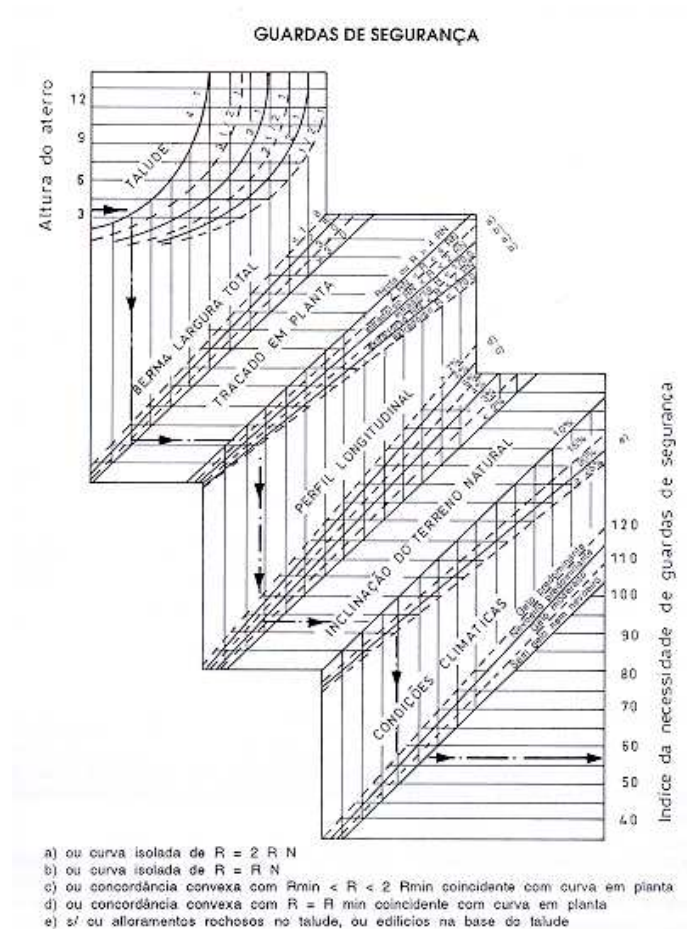


Figura 23 – Necessidade de barreiras de segurança [35].

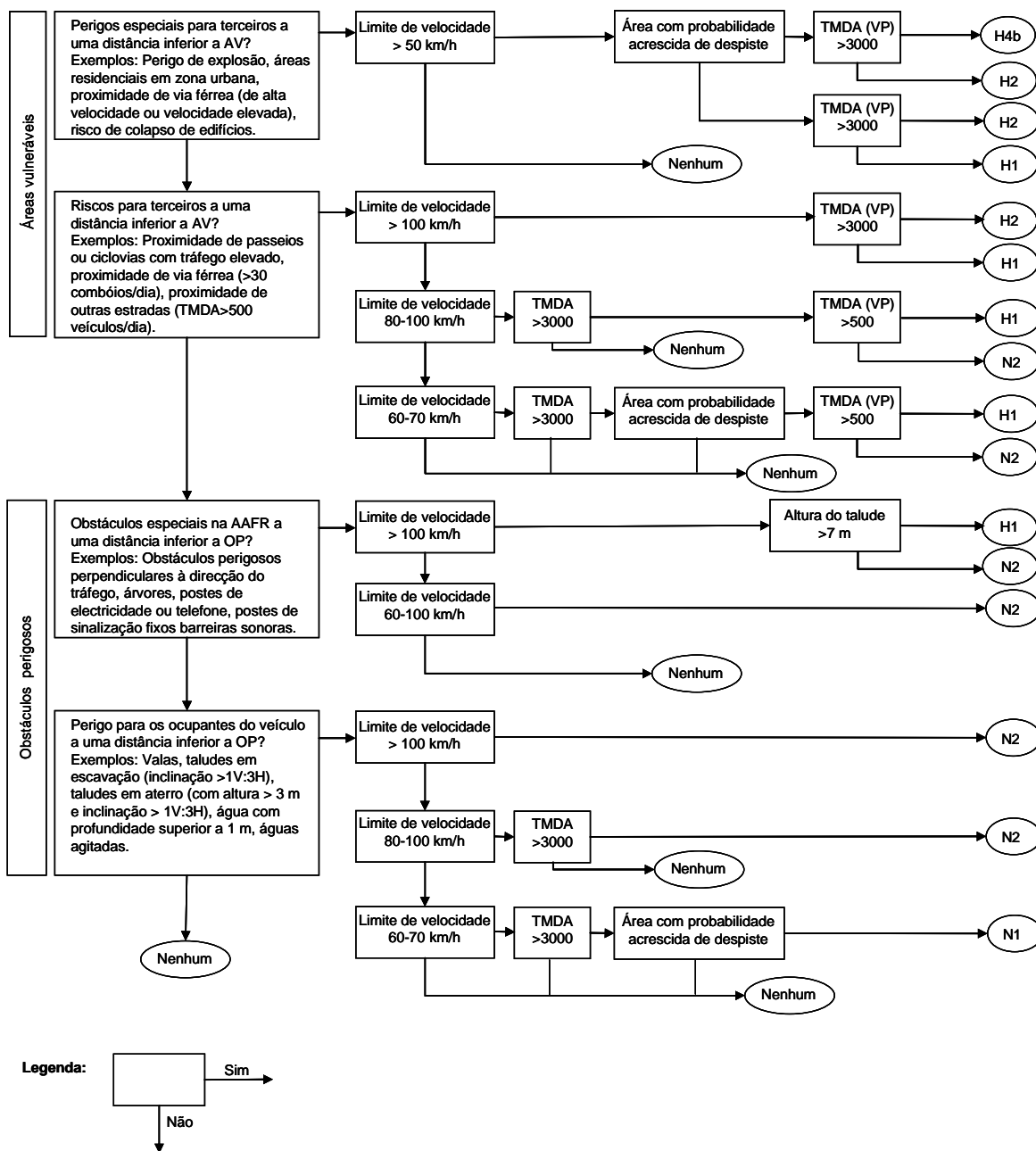
Assim a necessidade de barreiras de segurança é função não só das características descritas anteriormente, mas também do volume de tráfego da estrada em análise.

A par com a definição de critérios para avaliação da necessidade de colocação, importa estabelecer o nível de retenção adequado para a situação em análise. O nível de retenção é uma das características mais importantes de um sistema de retenção de veículos, pois define a aptidão do sistema para redireccionar um veículo, impedindo a invasão de uma área sensível. O nível de retenção é especificado pelas condições do ensaio de choque (massa do veículo, velocidade de embate e ângulo de embate). Um maior nível de retenção resulta num sistema de retenção de veículos mais resistente.

A principal preocupação na determinação do nível de retenção consiste na avaliação do risco de um veículo descontrolado de determinadas características colidir violentamente com o sistema, bem como de, em consequência, penetrar ou atravessar o mesmo, invadindo a área sensível. Assim, o nível de retenção deve ser estabelecido tendo em consideração os seguintes aspectos:

- Tipo de veículos que circulam na estrada (normalmente, a percentagem ou o TMDA de veículos pesados);
- Categoria de estrada (auto-estrada, estrada rural ou arruamento);
- Velocidade de circulação;
- Informação local que possa afectar o risco de acidente (condições climatéricas, geometria do traçado, etc.)
- Factores adicionais de risco (acima identificados em termos de danos em terceiros).

Neste âmbito destaca-se a norma alemã RPS 2008 [24] que apresenta um algoritmo para selecção do nível de retenção que contém todos os elementos acima identificados (ver Figura 24), aparentando ser o mais desenvolvido e detalhado de todos aqueles que foram analisados.



Nota: No que diz respeito à gravidade do embate do veículo, não se deverá exceder a classe B. A classe de nível de largura útil W deverá ser compatível com o espaço disponível.

Figura 24 – Critérios de avaliação da necessidade e selecção do nível de retenção de barreiras de segurança (adaptado de [24]).

O processo começa no lado esquerdo da figura com o tipo de obstáculo perigoso (como, por exemplo, árvores, postes de electricidade ou barreiras sonoras) ou área vulnerável (por exemplo, perigo de explosão, proximidade de via férrea ou risco de colapso de edifícios). De

seguida, o tipo de estrada é definido pelo limite de velocidade e TMDA. Condições específicas que possam conduzir a um maior risco de acidentes são igualmente consideradas, bem como a influência dos veículos pesados.

Por vezes, à avaliação do risco segue-se uma análise económica de soluções alternativas.

Assim, no que diz respeito aos critérios de colocação e selecção de nível de retenção, os parâmetros considerados nas normas e recomendações analisadas podem ser agrupados da seguinte forma:

- Velocidade (limite de velocidade ou velocidade média);
- Análise económica das alterações a introduzir;
- Características do tráfego (total e pesados);
- Características da estrada (tipo de estrada, traçado, largura das vias, etc.);
- Características da zona envolvente (zonas urbanas, proximidade de vias férreas, etc.);
- Características dos taludes (altura, inclinação, etc.);
- Presença de obstáculos perigosos na AAFR;
- Condições climatéricas.

O Quadro 27 apresenta uma síntese dessa análise, de onde se destacam dois países – Reino Unido e Estados Unidos da América – como sendo aqueles em que os critérios de colocação e selecção do nível de retenção dos sistemas são mais rigorosos e complexos.

Quadro 27 – Critérios de necessidade de colocação e selecção de nível de retenção.

	País	Veloc.	Anál. Econ.	Tráfego		Caract. da estrada	Caract. da envolvente	Taludes	Obst. na AAFR	Condições climatéricas
				Total	Pes.					
EN 1317	Alemanha	•		•	•	•	•	•	•	
	Espanha	•		•	• ^(a)	•	•	•	•	
	França	•		•	•	•		•	•	
	Holanda	•				•	•	•	•	
	Irlanda	•		•	•	•	•	•	•	
	Itália	•		•	•	•	•	•	•	
	Noruega	•		•	•		•	•	•	
	Portugal			•		•	•	•	•	•
	Reino Unido	•	•	•	•	•	•	•	•	
	Suécia	•		•		•	•	•	•	
	NCHRP 350	África do Sul	•		•		•		•	•
Austrália		•	•	•	•	•	•	•	•	
Canadá		•	•	•		•	•	•		•
EUA		•	•	•	•	•	•	•	•	
Nova Zelândia				•	•	•	•	•		

^(a) Aplicável apenas a barreiras de segurança metálicas

De referir ainda que no caso de Portugal [35] os parâmetros indicados dizem respeito apenas a critérios de colocação, não havendo na normativa existente qualquer referência ao nível de retenção a considerar. Outros países, como a Itália [44, 90] ou a Nova Zelândia [72, 73], consideram alguns destes parâmetro apenas como critérios de necessidade de colocação e outros como critérios de escolha do nível de retenção. Na maioria dos países analisados, os parâmetros anteriormente referidos são utilizados quer para identificar os locais onde é necessário o sistema de retenção, quer para seleccionar o seu nível de retenção.

Verifica-se igualmente alguma uniformidade em termos dos níveis mínimos e máximos de retenção observados. O Quadro 28 apresenta esses valores para todos os países analisados, de acordo com a EN 1317 [21] e a NCHRP 350 [45], e complementarmente a mesma informação é apresentada convertendo para a classificação da EN 1317 os valores referentes aos países que adoptam como norma a NCHRP 350.

Quadro 28 – Selecção do nível de retenção.

	País	Mínimo	Mínimo (corrigido)	Máximo	Máximo (corrigido)
EN 1317	Alemanha	N2	N2	H4b	H4b
	Espanha	N2 ^(a)	N2 ^(a)	H4 ^(a)	H4 ^(a)
	França	N2	N2	H4	H4
	Holanda	T1	T1	H2	H2
	Irlanda	N2	N2	H2 ^(b)	H2 ^(b)
	Itália	N1	N1	H4	H4
	Noruega	N1 ^(c)	N1 ^(c)	H4	H4
	Portugal	-	-	-	-
	Reino Unido	N2	N2	H4a	H4a
	Suécia	N1	N1	H4	H4
NCHRP 350	África do Sul	-	-	-	-
	Austrália	TL2	< N1	TL6	H4b
	Canadá	-	-	-	-
	EUA	TL2	< N1	TL5	H4b
	Nova Zelândia	TL3	N2	TL6	H4b

^(a) Aplicável apenas a barreiras de segurança metálicas

^(b) Poderá ser superior em condições excepcionais

^(c) Poderá ser inferior (T1 a T3) em situações temporárias

Dos quadros anteriores é de destacar não estar prevista em qualquer documento analisado a utilização dos níveis mais baixos de retenção, denominados de retenção num ângulo fechado (T1, T2 e T3), facto contudo explicável pelos mesmos só deverem ser utilizados em barreiras de segurança temporárias. Complementarmente, a quase totalidade dos países prevê só em situações muito particulares a adopção de sistemas de retenção muito elevada (H4a ou H4b).

4.4.3 Posicionamento lateral do sistema

O posicionamento de qualquer sistema de retenção de veículos na proximidade da faixa de rodagem deve ter em consideração a influência do mesmo no tráfego e as implicações em matéria de manutenção da infra-estrutura. Grande número das barreiras de segurança está localizado muito perto do limite da faixa de rodagem. No âmbito do projecto europeu RISER [52] foi simulada, entre outras, a influência do posicionamento lateral destas barreiras no comportamento do condutor.



Figura 25 – Simulação das condições de uma estrada rural (adaptado de [52]).

De acordo com este estudo, quando uma via de emergência¹³ está situada entre a barreira de segurança e as vias de tráfego, os condutores tendem a conduzir mais perto da guia. Daqui pode concluir-se que o posicionamento lateral da barreira de segurança pode afectar o posicionamento lateral do tráfego. É por esta razão, conveniente a existência de uma berma pavimentada que faça a separação entre o tráfego e a barreira de segurança; disponibilizando espaço para recuperar o controlo de viaturas em situações de pequenas incursões na AAFR.

A distância livre de obstáculo atrás de uma barreira de segurança (ou de outro sistema de retenção de veículos que deflicta) é matéria de extraordinária importância para o correcto funcionamento do sistema. De acordo com o descrito anteriormente, a largura útil e a deflexão dinâmica são determinadas a partir de ensaios de choque. Estas distâncias devem ser consideradas aquando da escolha de uma barreira de segurança, de forma a garantir que há espaço livre suficiente por trás do sistema que lhe permita uma adequada deformação. A Figura 26 ilustra a necessidade de haver espaço suficiente para que, durante um embate, a deflexão da barreira de segurança e do veículo não impliquem o contacto deste com os obstáculos perigosos colocados atrás da mesma.

¹³ Berma pavimentada com largura não inferior a 2.5 metros

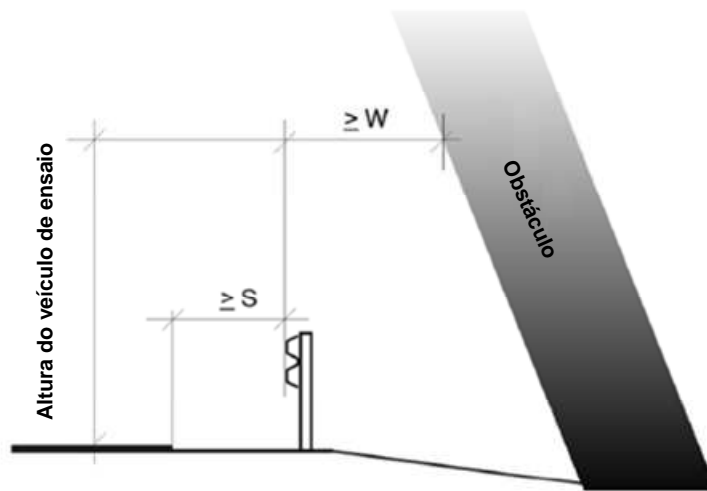


Figura 26 – Distância livre necessária atrás de um sistema de retenção de veículos (adaptado de [29]).

Em princípio, a barreira de segurança será escolhida de modo que a largura útil seja menor ou igual à distância entre a face frontal da barreira de segurança e a aresta frontal do obstáculo perigoso.

De acordo com a norma alemã [24], a distância mínima entre a face anterior da barreira de segurança e a linha de referência (que corresponde à fronteira do lado do tráfego, geralmente dada pelo bordo da superfície pavimentada, S na Figura 26) deve ser de 0,5 m. Em casos excepcionais, é possível diminuir esta dimensão mínima se, por exemplo, de outra forma existirem obstáculos dentro da largura útil. Por outro lado, poderá ser necessário ter uma distância superior a fim de manter os campos de visão adequados. Se o espaço permitir ou se as condições de tráfego o exigirem (por exemplo, em estradas sem caminhos separados para peões ou ciclovias), a barreira de segurança deve ser colocada a uma distância de 1,0 m a 1,5 m da linha de referência. Nesses casos, as bermas não pavimentadas devem ser seguras para um veículo descontrolado e o normal funcionamento da barreira de segurança deve ser garantido e, se necessário, comprovado.

No caso de perigos decorrentes de taludes ou de zonas de água, e de acordo com a mesma norma [24], é necessário verificar se o nível de largura útil mais elevado e mais próximo também pode ser escolhido (por exemplo, W7 em vez de W6).

Barreiras de segurança com um nível de largura útil superior à distância entre a face frontal da barreira de segurança e a aresta frontal do obstáculo perigoso podem ser utilizadas se os ensaios realizados de acordo com a EN 1317-2 [21] mostrarem que os veículos são retidos e o funcionamento da barreira de segurança não é alterado.

4.4.4 Comprimento necessário

Outro requisito fundamental para qualquer sistema de retenção de veículos, em particular no caso das barreiras de segurança, é o seu comprimento de instalação. O comprimento necessário de um sistema de retenção depende de três factores:

- Características do próprio sistema, especificando o comprimento mínimo para o correcto funcionamento do mesmo. Este consiste no comprimento considerado no relatório de ensaio da ficha de homologação, de acordo com a EN 1317, correspondendo assim ao comprimento mínimo de instalação da barreira de segurança;
- Condições esperadas de embate, função do ângulo e a velocidade de embate esperados.
- Características da AAFR, nomeadamente dimensões do obstáculo e possibilidade de circulação do veículo descontrolado por detrás da barreira;

O comprimento necessário deve ser entendido como o comprimento adequado de um sistema de retenção de veículos excluindo terminais ou fixações. Este comprimento corresponde à secção de barreira que deverá ser atingida por um veículo descontrolado, susceptível de invadir a zona perigosa, ao sair da faixa de rodagem. Os terminais, podendo igualmente ser atingidos por um veículo descontrolado, não devem ser considerados como fazendo parte da secção principal da barreira, tanto mais que o nível de retenção que disponibilizam é inferior ao desta.

No Quadro 29 são descritos os comprimentos necessários mínimos para barreiras de segurança metálicas exceptuando terminais constantes da normativa internacional analisada

[4, 5, 7, 13, 14, 16, 17, 18, 24, 29, 32, 35, 39, 43, 44, 46, 60, 62, 63, 72, 74, 83] bem como na EN 1317 [21] e na NCHRP 350 [45].

Quadro 29 – Comprimento necessário mínimo das barreiras de segurança metálicas.

	País	Comprimento mínimo das guardas metálicas
EN 1317	Portugal	-
	Espanha	28 m a 60 m (em função da velocidade de projecto)
	Itália	Definido pelo certificado de homologação
	Reino Unido	37,5 m a 63 m (em função do nível de retenção e dos dados do fabricante)
	Irlanda	45 m (ou 20 m em casos especiais)
	França	60 m
	Suécia	95 m (para uma velocidade de 110 km/h)
	Noruega	45 m a 165 m (em função do limite de velocidade)
	Holanda	75 m
	Alemanha	70 m a 280 m
NCHRP 350	Austrália	24 m
	Canadá	42,4 m a 104,9 m
	África do Sul	Calculado através do “Run-out Length Method”
	EUA	Calculado através do “Run-out Length Method”
	Nova Zelândia	Calculado através do “Run-out Length Method”
	EN1317	Definido pelo fabricante
	NCHRP 350	30 m

De destacar que são vários os países a utilizar o “Run-out Length Method” desenvolvido no âmbito do Roadside Design Guide [4].

5 CONCLUSÕES

No presente documento resumem-se os resultados da análise das características da AAFR relacionadas com a segurança rodoviária e apresenta-se uma síntese das práticas actuais nesta matéria, com especial incidência nos sistemas de retenção de veículos.

Nesta primeira fase do projecto SAFESIDE, efectuou-se o levantamento das estratégias de segurança rodoviária para a AAFR nos países europeus e nos EUA. Ficou demonstrado que, tal como acontece desde há várias décadas nos EUA, grande parte dos países europeus tem, hoje em dia, definidas orientações claras sobre as características a atribuir à AAFR e – mais especificamente – sobre os sistemas de retenção de veículos, adoptando medidas concretas em relação a estas, no âmbito das prioridades definidas por cada estado e dos recursos disponibilizados para o efeito.

Dentro deste quadro, verifica-se que as características da AAFR e, em particular, dos sistemas de retenção de veículos são consideradas de grande importância para a segurança rodoviária. Neste âmbito, o destaque vai para as características da zona livre de obstáculos perigosos e para o processo de selecção dos sistemas de retenção de veículos (em particular das barreiras de segurança). A importância da avaliação das características da AAFR para a segurança rodoviária é amplamente reconhecida, e a necessidade de mais conhecimento nesta matéria, nomeadamente no que diz respeito ao aspectos relevantes do comportamento dos ocupantes e veículos numa saída inadvertida da faixa de rodagem, é igualmente indispensável.

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 E.U.A. há o consenso generalizado de que a largura da zona livre deve ser, em estradas onde são praticadas velocidades elevadas, da ordem dos 10 m. 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 da sua traficabilidade.

No que diz respeito aos sistemas de retenção rodoviários, a experiência tem demonstrado que, tipicamente, os problemas mais frequentemente associados ao seu funcionamento são os seguintes:

- Comprimento insuficiente dos sistemas para proteger os veículos descontrolados dos obstáculos perigosos.
- Sistemas que protegem os veículos ligeiros descontrolados dos obstáculos perigosos negligenciando os perigos que representam os veículos pesados.
- Distâncias livres de obstáculos por detrás dos sistemas insuficientes para o regular funcionamento dos mesmos.
- Terminais e transições das barreiras de segurança inadequados.

Qualquer sistema de retenção de veículos utilizado para proteger os veículos descontrolados dos obstáculos perigosos deve ser testado de acordo com os requisitos de ensaio europeus, conforme especificado nas normas EN 1317 e EN12767.

Em resultado do levantamento da prática internacional na matéria foram elaboradas recomendações para a abordagem do problema da colocação dos sistemas de retenção em estradas portuguesas.

Informações de dados e causas de acidentes a analisar no âmbito das tarefas WP3 a WP5 do presente estudo, poderão vir a ser usados na validação das recomendações agora apresentadas e no desenvolvimento de políticas para a selecção e instalação de equipamentos na AAFR.

Lisboa, LNEC, Dezembro de 2011

VISTOS



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

AUTORIAS



Eng.º Carlos Roque
Bolseiro de Investigação



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 (1994). 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 Australian/New Zealand Standard (1999). AS/NZS 3845:1999 Road safety barrier systems. Published jointly by: Standards Australia.1 The Crescent, Homebush NSW 2140 Australia. Standards New Zealand. Level 10, Radio New Zealand House,155 The Terrace, Wellington 6001 New Zealand. ISBN 0 7337 2293 8
- 6 Braimaister, L. G. (1998). Specific Safety Measures for Emergency Lanes and Shoulders of Motorways, SWOV Institute for Road Safety.
- 7 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.
- 8 Cardoso, J.L.; Roque, C.A. (2001). Área Adjacente à Faixa de rodagem de Estradas Interurbanas e Sinistralidade. Relatório LNEC, Lisboa..
- 9 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.
- 10 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.

- 11 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.
- 12 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 nº1318, Transportation Research Board.
- 13 CROW (2004). Handboek veilige inrichting van bermen; Niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom. Publicatie 202. CROW Kenniscentrum voor verkeer, vervoer en infrastructuur, Ede.
- 14 CSIR Transportek (2001). Geometric Design Guidelines. Council for Scientific and Industrial Research. South African National Road Agency Limited
- 15 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.
- 16 Dirección General de Carreteras (1995). Orden Circular 321/95 - Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos. Secretaría de Estado de Infraestructuras. Ministerio de Fomento.
- 17 Dirección General de Carreteras (2008). Recomendaciones sobre criterios de aplicación de pretilas metálicas en carreteras. Secretaría de Estado de Infraestructuras. Ministerio de Fomento.
- 18 Dirección General de Carreteras (2009). Orden Circular 28/2009 sobre Criterios de Aplicación de Barreras de Seguridad Metálicas. Secretaría de Estado de Infraestructuras. Ministerio de Fomento.
- 19 Elvik, R., Vaa, T. (2004). The Handbook of Road Safety Measures. Elsevier Science, Oxford.

- 20 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.
- 21 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.
- 22 European Committee for Standardization (2007). EN 12767 Road Passive safety of support structures for road equipment - Requirements and test methods. CEN/TC 226.
- 23 European Transport Safety Council (1998). Forgiven Roadsides.
- 24 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
- 25 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.
- 26 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.
- 27 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.
- 28 Hayes E.; Ross, Jr. (1995). Evolution of Roadside Safety, in Roadside Safety Issues, Transportation Research Circular n°435, Transportation Research Board.
- 29 Highway Agency (2006). TD 19/06 - Requirement for road restraint systems. Design manual for roads and bridges, volume 2 Highway structures. Secretary of State for Transport, Local Government and the Regions. England.

- 30 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
- 31 <http://termino.piarc.org/> acedido em 04.11.2008
- 32 <http://www.eurorail.nl/geleiderail/geleiderailprestatieklassen.htm>
- 33 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.
- 34 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.
- 35 Junta Autónoma de Estradas (1994). Norma de Traçado.
- 36 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.
- 37 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.
- 38 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.
- 39 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.
- 40 Matena S., Louwse W., Schermers. G., Vaneerdewegh P., Pokorny P., Gaitanidou L. (HIT), Elvik R. (TOI), Cardoso J. (2005). Best Practice on Self-explaining and Forgiving

- Roads. RIPCORDER-ISEREST Report D3, Federal Highway Research Institute (BAST), Bergisch Gladbach, Germany.
- 41 McGee, H. W.; Hughes, W.E.; Daily, K. (1995). Effect of Highway Standards on Safety, NCHRP Report 374, Transportation Research Board.
- 42 Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (1999). Accidents Mortels Contre Obstacles Fixes – CEESAR.
- 43 Ministero dei lavori pubblici (1998). Ulteriore aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e delle prescrizioni tecniche per le prove ai fini dell'omologazione. (testo coordinato con le modifiche del D.M. 11 giugno 1999). Gazzetta Ufficiale n. 253 del 3 giugno 1998.
- 44 Ministero dei lavori pubblici (2004). Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e le prescrizioni tecniche per le prove delle barriere di sicurezza stradale . DECRETO 21 giugno 2004.
- 45 National Cooperative Highway Research Program (1993). NCHRP Report 350: Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features. Transportation Research Board. National Research Council.
- 46 National Roads Authority (2007). TD 19/07 - Safety Barriers. NRA DESIGN MANUAL FOR ROADS AND BRIDGES Volume 2 Section 2 Part 8A . St. Martin's House, Waterloo Road, Dublin. Ireland.
- 47 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
- 48 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.
- 49 Ray, M.H.; Carney, J.F.; Opiela, K.S. (1995). Workshop Summary, in Roadside Safety Issues, Transportation Research Circular n°435, Transportation Research Board.

- 50 Rijkswaterstaat (2007). Nieuwe Ontwerprichtlijn Autosnelwegen. Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management. ISBN 90 3693 636 5
- 51 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.
- 52 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
- 53 RISER (2006). D06: European Best Practice for Roadside Design. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme “Growth”, Project "RISER" GRD2/2001/50088.
- 54 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.
- 55 Safety Standards for Road Design and Redesign – SAFESTAR Final Report, European Commission Under the Transport RTD Programme of the Fourth Framework Programme, 1998.
- 56 Schoon, C. - Draft (1998). Criteria for Safe Roadside in Relation With the Installation of Safety Barriers (Steel and Concrete), SWOV Institute for Road Safety.
- 57 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.
- 58 Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (1995). Highway Design Guide. Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement.

- 59 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
- 60 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.
- 61 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.
- 62 Sétra (2004). Guide technique Géfra – Jumelage des plates-formes ferroviaires et routières ou autoroutières. Aide à la définition des dispositifs de protection anti-pénétration.
- 63 Statens vegvesen (2003). Rekkverk. Nr. 231 i Vegvesenets håndbokserie Forsidetegning: Siv. ark., landskapsark. Rolf Gulbrandsen. August 2003. Vegdirektoratet. ISBN 82-7207-545-8.
- 64 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).
- 65 SUPREME (2007). Summary and Publication of Best Practices. In Road Safety in The Member States Thematic Report: Infrastructure. KfV (Austrian Road Safety Board).
- 66 Swedish National Road and Transport Research Institute (1990). Strategic Highway Research Program (SHRP) and Traffic Safety on Two Continents,
- 67 Swedish National Road and Transport Research Institute (1993). Strategic Highway Research Program (SHRP) and Traffic Safety on Two Continents.

- 68 Swedish National Road and Transport Research Institute (1997). Traffic Safety on two Continents – Roadside design.
- 69 SWOV – Institute for Road Safety Research (2006). Advancing Sustainable Safety: National Road Safety Outlook for 2005-2020. Leidschendam. Netherlands.
- 70 SWOV – Institute for Road Safety Research (2007). Safe road shoulders. Leidschendam. Netherlands.
- 71 SWOV (2007). Safe road shoulders. SWOV Fact sheet. Leidschendam, the Netherlands.
- 72 Transit New Zealand (2002).TNZ M/23 : 2002 - Specification for Road Safety Barrier Systems
- 73 Transit New Zealand (2005). STATE HIGHWAY GEOMETRIC DESIGN MANUAL. SECTION 7: ROADSIDE FEATURES.Revised Draft: 12 May 2005
- 74 Transit New Zealand (2005).TNZ M/23 Notes : December 2005 - Notes on Specification for Road Safety Barrier Systems
- 75 Transportation Research Board (1975). Roadside Hazards and Safety Improvements, Transportation Research Record n°543.
- 76 Transportation Research Board (1986). Roadside Safety, Transportation Research Record n°1065.
- 77 Transportation Research Board (1991). Roadside Safety Features, Transportation Research Record n°1302.
- 78 Transportation Research Board (1992).Development and Evaluation of Roadside Safety Features, Transportation Research Record n°1367.
- 79 Transportation Research Board (1995).Geometric Design, Roadside Safety Features, Roadside Hardware Monitoring, and Scenic Loop Tours, Transportation Research Record n°1500,

- 80 Transportation Research Board (1996). Roadside Safety Issues Revisited, Transportation Research Circular n°453.
- 81 Transportation Research Board (1997). Strategies for Improving Roadside Safety, Research Result Digest 220.
- 82 Turner, D.S. (1987). A Primer on the Clear Zone, Geometric Design and Operational Effects, Transportation Research Record n°1122, Transportation Research Board.
- 83 Vägverket (2000). Sidoutformning, Vägutformningsdagarna 2000 - Arbetsmaterial. Swedish National Road Administration. SE-781 87 Borlänge, Sweden.
- 84 Vägverket (2001). VU 94 ROAD DESIGN, English summary, Swedish design guidelines for state roads. Swedish National Road Administration. SE-781 87 Borlänge, Sweden.
- 85 Vägverket (2006). SAFE TRAFFIC Vision Zero on the move. Swedish Road Administration. SE-781 87 Borlänge, Sweden.
- 86 Washington State Department of Transportation (2008). Design Manual.
- 87 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.

