



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
INFRAESTRUTURA E GERÊNCIA VIÁRIA**

Camila Belleza Maciel Barreto

**MÉTODO PARA CONCEPÇÃO E GESTÃO DE SISTEMAS DE
CONTROLE DE VELOCIDADE EM REDES VIÁRIAS**

Florianópolis

2015

Camila Belleza Maciel Barreto

**MÉTODO PARA CONCEPÇÃO E GESTÃO DE SISTEMAS DE
CONTROLE DE VELOCIDADE EM REDES VIÁRIAS**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador:

Prof. Dr. Amir Mattar Valente

Florianópolis

2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Barreto, Camila Belleza Maciel
Método para concepção e gestão de sistemas de controle
de velocidade em redes viárias / Camila Belleza Maciel
Barreto ; orientador, Amir Mattar Valente - Florianópolis,
SC, 2015.
267 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Sistemas de controle de
velocidade em rodovias. 3. Controle de velocidade média.
4. Acidentes de trânsito. 5. Segurança viária. I. , Amir
Mattar Valente. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
III. Título.

Camila Belleza Maciel Barreto

**MÉTODO PARA CONCEPÇÃO E GESTÃO DE SISTEMAS DE
CONTROLE DE VELOCIDADE EM REDES VIÁRIAS**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Doutor em Engenharia Civil” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Florianópolis, 08 de junho de 2015.

Prof. Dr. Roberto Caldas Andrade Pinto - Coordenador do PPGEC

Prof. Dr. Amir Mattar Valente - ECV/UFSC (Orientador)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior - EESC/USP

Prof. Dr. Romulo Dante Orrico Filho - COPPE/UFRJ

Profª. Drª Liseane Padilha Thives - ECV/UFSC

Profª. Drª Lenise Grando Goldner - ECV/UFSC

Prof. Dr. Antônio Fortunato Marcon - ECV/UFSC

AGRADECIMENTOS

À minha mãe e amiga Lila, pelo amor, companheirismo, compreensão e incentivo ao meu crescimento pessoal e profissional.

Ao meu pai Régis, apesar de não estar presente fisicamente, sempre me incentivou nos estudos e sempre estará em meus pensamentos e no meu coração.

Ao meu esposo Gustavo, pelo amor, incentivo, compreensão e paciência em todos os momentos ao longo desses anos de doutorado.

Às minhas irmãs Priscila e Paola, pela amizade, incentivo e apoio.

Aos meus sobrinhos Nicolas, Yasmin e Julia, pelas alegrias de sempre.

Aos meus padrinhos Geila, Anaí, Júlio César e João Carlos (*in memoriam*), por sempre me incentivarem nos estudos.

Ao meu orientador Professor Dr. Amir Mattar Valente, pelos ensinamentos, amizade e incentivo no decorrer deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina, por meio do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, pela oportunidade de realização do doutorado.

Aos Professores Antônio Fortunato Marcon, José Leomar Fernandes Júnior, Lenise Grando Goldner, Liseane Padilha Thives e Rômulo Dante Orrico Filho, pelas contribuições enriquecedoras a este trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Transporte e Logística – LabTrans/DNIT, pela amizade e apoio durante esses anos de convivência.

À Coordenação Geral de Operações Rodoviárias (CGPERT), do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), por viabilizar o acesso aos dados relativos aos equipamentos de controle de velocidade em operação na malha rodoviária federal brasileira.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

“O futuro pertence àqueles que acreditam
na beleza de seus sonhos”

Elleanor Roosevelt

RESUMO

Apesar da complexidade para estabelecer a influência da velocidade na ocorrência de acidentes em rodovias, diversas pesquisas têm indicado consistentemente que a velocidade é, muitas vezes, um fator contribuinte para a ocorrência de acidentes e suas gravidades. De fato, estudos têm mostrado que em aproximadamente um terço de todos os acidentes fatais ocorridos, a velocidade tem desempenhado um papel decisivo. Considerando esses fatores, o objetivo desta pesquisa é propor um método para concepção de sistemas de controle de velocidade, incluindo análise das características da malha viária, levantamento de dados de tráfego e de acidentes, determinação de segmentos homogêneos de tráfego e de velocidade, critérios para definição e priorização de trechos críticos, pontos críticos e pontos notáveis em uma rodovia, além da definição dos equipamentos a serem utilizados em cada uma das situações. Para a definição do método proposto, foi realizado um levantamento de pesquisas e práticas relacionadas a sistemas de controle de velocidade no mundo, bem como pesquisas que vem sendo realizadas no Brasil ao longo do tempo. No intuito de buscar subsídios técnicos em relação à efetividade de sistemas de controle de velocidade, foram selecionados trechos de rodovias em todas as regiões do Brasil com sistemas de controle de velocidade em operação, sendo avaliados os acidentes ocorridos antes e após a instalação dos equipamentos, incluindo a análise dos tipos de acidentes ocorridos e suas gravidades. Dessa forma, foi possível analisar alguns dos resultados obtidos com estes sistemas em relação às condições de segurança viária. A partir desta análise, foi proposto um método para concepção e gestão de sistemas de controle de velocidade, incluindo segmentos críticos, pontos críticos e pontos notáveis, apresentando soluções para cada um desses elementos. Uma etapa importante do método proposto é a definição de segmentos homogêneos de tráfego – SHT e segmentos homogêneos de velocidade – SHV. Tais conceitos estão relacionados à homogeneidade de um determinado trecho de rodovia em relação ao volume de tráfego, bem como da velocidade regulamentada. Por fim, foi apresentado um exemplo ilustrativo para aplicação dos procedimentos propostos para a implantação de um sistema de controle de velocidade, buscando mostrar a aplicabilidade do método proposto de forma prática.

Palavras-chave: Sistemas de controle de velocidade. Acidentes. Velocidade. Controle de velocidade média. Segurança viária.

ABSTRACT

Despite the complexity to establish the influence of speed on crashes on highways, several studies have consistently shown that speed is often a contributing factor to the occurrence of accidents and their severity. In fact, studies have shown that in approximately one third of all fatal crashes, speed has played a decisive role. Considering these factors, the objective of this research is to propose a method for design of speed control systems, including analysis of the characteristics of the road network, survey data traffic and crashes, determination of homogeneous segments of traffic and speed criteria for definition and prioritization of critical sections, hot spots and notable points on a highway and the definition of the equipment to be used in each situation. For the definition of the proposed method, a survey was conducted of research and practice related to speed control systems in the world, as well as research that has been carried out in Brazil over time. In order to seek technical inputs regarding the effectiveness of speed control systems, highway stretches were selected in all regions of Brazil with speed control systems in operation, evaluated the accidents before and after the installation of equipment, including analysis of the types of accidents and their severity. Thus, it was possible to analyze some of the results obtained with these systems in relation to road safety. From this analysis, it proposed a method for designing and managing speed control systems, including critical segments, critical points and notable points, providing solutions for each of these elements. An important stage of the proposed method is the definition of homogeneous traffic segments - SHT and homogeneous segments of speed - SHV. These concepts are related to the homogeneity of a particular stretch of highway in relation to the volume of traffic as well as the regulated speed. Finally, an illustrative example was carried out to implement the procedures proposed for the implementation of a speed control system, seeking to show the applicability of the proposed method in a practical way.

Keywords: Systems of speed control. Accidents. Speed. Control of average speed. Road safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fatores que contribuem para a ocorrência de acidentes de trânsito e sua inter-relação.....	35
Figura 2 - Caracterização da malha rodoviária federal.....	39
Figura 3 - Acidentes ocorridos em rodovias federais em função do tipo de pista	39
Figura 4 - Acidentes ocorridos em rodovias federais em função do tipo de pista e ocupação do solo	41
Figura 5 - Mapa da mortalidade no trânsito no mundo	44
Figura 6 - Taxa de mortalidade por 100 mil habitantes relativa a acidentes de trânsito no mundo	45
Figura 7 - Mapa da taxa de mortalidade no trânsito no mundo.....	46
Figura 8 - Taxa de mortalidade no trânsito por país no mundo.....	48
Figura 9 - Número de mortes no trânsito no Brasil, 1980 - 2011	49
Figura 10 - Frota de veículos no Brasil	50
Figura 11 - Taxa de mortalidade por acidente de trânsito no Brasil.....	50
Figura 12 - Curva de distribuição de frequência acumulada de velocidades	57
Figura 13 - Ilustração da distância de parada numa freada de emergência	63
Figura 14 - Relação entre velocidade e acidentes	65
Figura 15 - Causas dos acidentes ocorridos em rodovias federais em 2013	67
Figura 16 - Causas dos acidentes com vítimas fatais ocorridos em rodovias federais em 2013.....	67
Figura 17 - Probabilidade de lesão fatal para um pedestre em um atropelamento	70
Figura 18 - Foco dos motoristas de acordo com a velocidade praticada	71
Figura 19 - Índices de acidentes e diferenças entre velocidades V85 (n=número de curvas).....	74

Figura 20 - Tempo gasto para percorrer 100 km em função da velocidade	75
Figura 21 - Equilíbrio de forças num veículo de peso P em uma curva de raio R e superelevação com ângulo α	79
Figura 22 - Frequência de acidentes e raios das curvas	80
Figura 23 - Lombada Eletrônica - tipo pórtico.....	103
Figura 24 - Lombada Eletrônica - tipo monólito	104
Figura 25 - Lombada Eletrônica - tipo bandeira	104
Figura 26 - Funcionamento do radar fixo	106
Figura 27 - Laços indutivos instalados no asfalto	107
Figura 28 - Imagem de um cabo piezoelétrico.....	109
Figura 29 - Esquema de funcionamento do sensor infravermelho passivo	110
Figura 30 - Leitura em feixes de raio laser	111
Figura 31 - Esquema do funcionamento do radar por micro-ondas	111
Figura 32 - Esquema do funcionamento sensor <i>doppler</i>	113
Figura 33 - Montagem de ultrassom faixa de medição de sensores.....	114
Figura 34 - Harmonização de velocidades com o uso de painel de mensagem variável.....	119
Figura 35 - Algoritmo de controle de harmonização de velocidade	123
Figura 36 - Esquema de funcionamento do Sistema Tutor	139
Figura 37 - Localização das rodovias com Sistema Tutor	141
Figura 38 - Controle de velocidade média em túneis na Espanha.....	144
Figura 39 - Esquema de monitoramento da velocidade média na Espanha	145
Figura 40 - Esquema de controle de velocidade	146
Figura 41 - Percentual de acidentes ocorridos um ano após a instalação de equipamentos.....	160
Figura 42 - Percentual de acidentes ocorridos um ano após a instalação dos radares fixos.....	161

Figura 43 - Total de acidentes ocorridos antes e após a instalação dos radares fixos	161
Figura 44 - Percentual de acidentes um ano após a instalação das barreiras eletrônicas.....	162
Figura 45 - Total de acidentes ocorridos antes e após a instalação das barreiras eletrônicas.....	163
Figura 46 - Localização de radar fixo no km 29,5 da BR-459/SP.....	167
Figura 47 - Resultados obtidos na BR-459/SP um ano após a instalação de equipamento.....	168
Figura 48 - Localização de radar fixo no km 453,2 da BR-040/MG...	168
Figura 49 - Resultados obtidos na BR-040/MG um ano após a instalação de equipamento.....	169
Figura 50 - Localização do km 95,9 da BR-262/MG	170
Figura 51 - Presença de estabelecimentos comerciais e acessos junto à rodovia.....	171
Figura 52 - Fases do método proposto	174
Figura 53 - Fase I - Concepção do sistema de controle de velocidade	174
Figura 54 - Etapas propostas para concepção de sistema de controle de velocidade.....	176
Figura 55 - Etapa I - Identificação e caracterização da rede viária	177
Figura 56 - Etapa II - Levantamento de dados de acidentes.....	178
Figura 57 - Etapa III - Levantamento de dados de tráfego.....	180
Figura 58 - Etapa IV - Levantamento dos equipamentos existentes ...	181
Figura 59 - Etapa V - Análise de segmentos	181
Figura 60 - Etapa V.1 - Determinação dos segmentos homogêneos de tráfego e velocidade.....	183
Figura 61 - Etapa V.2 - Determinação dos segmentos críticos	184
Figura 62 - Etapa V.3 - Priorização dos segmentos críticos.....	186
Figura 63 - Etapa V.4 - Definição dos equipamentos	187
Figura 64 - Etapa VI – Análise de pontos	189

Figura 65 - Etapa VI.1 - Determinação de pontos notáveis e pontos críticos.....	191
Figura 66 - Etapa VI.2 - Priorização de pontos notáveis e pontos críticos	192
Figura 67 - Etapa VI.3 - Definição dos equipamentos.....	193
Figura 68 - Etapa VI.4 - Locais para implantação	195
Figura 69 - Fase II - Gestão de sistema de controle de velocidade	196
Figura 70 - Etapas propostas para gestão de sistemas de controle de velocidade	196
Figura 71 - Etapa I - Levantamento de dados de acidentes.....	198
Figura 72 - Etapa III - Levantamento de dados de tráfego.....	198
Figura 73 - Atualização dos segmentos homogêneos de tráfego e velocidade	199
Figura 74 - Atualização dos pontos notáveis	200
Figura 75 - Etapa V - Levantamento dos equipamentos existentes	201
Figura 76 - Etapa VI - Análise dos segmentos.....	202
Figura 77 - Análise de pontos notáveis e pontos críticos.....	203
Figura 78 - Etapa V - Pesquisa de opinião pública	205
Figura 79 - Identificação da rede viária a ser analisada	207
Figura 80 - Segmentos homogêneos de tráfego da Rodovia A.....	210
Figura 81 - Segmentos homogêneos de velocidade da Rodovia A	211
Figura 82 - Segmentação homogênea de tráfego e velocidade na Rodovia A.....	213
Figura 83 - Critérios para definição dos equipamentos.....	222

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores contribuintes e prováveis causas dos acidentes	36
Tabela 2 - Velocidade diretriz em função da classe de projeto e relevo em rodovias rurais	56
Tabela 3 - Velocidade regulamentada no Brasil.....	59
Tabela 4 - Limites de velocidade para veículos de passeio nos países integrantes da IRTAD.....	60
Tabela 5 - Principais causas de mortes no mundo.....	69
Tabela 6 - Qualidade de projeto em função da variação da velocidade	73
Tabela 7 - Resultados da experiência de acordo com o perfil do motorista	75
Tabela 8 - Sinais de regulamentação relacionados ao controle de velocidade.....	96
Tabela 9 - Distâncias máximas entre placas R-19.....	96
Tabela 10 - Sinais de advertência relacionados ao controle de velocidade	97
Tabela 11 - Alguns exemplos dos benefícios do uso de limites de velocidade variável.....	120
Tabela 12 - Variação dos limites de velocidade em países com harmonização de velocidade.....	121
Tabela 13 - Distância entre a placa R-19 e o equipamento	131
Tabela 14 - Velocidade média dos motoristas antes e depois da implantação do sistema.....	147
Tabela 15 - Localização dos equipamentos de controle de velocidade	154
Tabela 16 - Número de acidentes ocorridos antes e depois da instalação dos equipamentos	158
Tabela 17 - Resultados obtidos após a instalação dos equipamentos de controle de velocidade.....	165
Tabela 18 - Trechos da Rodovia A em análise.....	208
Tabela 19 - VMDa por trechos da Rodovia A.....	209

Tabela 20 - Equipamentos existentes na Rodovia A.....	209
Tabela 21 - Localização dos segmentos homogêneos de tráfego na Rodovia A	211
Tabela 22 - Localização dos segmentos homogêneos de velocidade na Rodovia A	212
Tabela 23 - Localização dos segmentos homogêneos na Rodovia A...	213
Tabela 24 - Segmentos críticos da Rodovia A.....	215
Tabela 25 - Locais concentradores de acidentes da Rodovia A.....	218
Tabela 26 - Ranking dos pontos críticos da Rodovia A relacionado à gravidade dos acidentes.....	219
Tabela 27 - Priorização dos pontos críticos da Rodovia A	220
Tabela 28 - Definição dos equipamentos para pontos notáveis e pontos críticos da rodovia A	223

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
BAT	Boletim de Acidente de Trânsito
CEFTRU	Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes
CESVI	Centro de Experimentação e Segurança Viária
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
CTRE	<i>Center for Transportation Research and Education</i>
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
HUTRC	<i>Howard University Transportation Research Center</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
iRAP	<i>International Road Assessment Programme</i>
IRTAD	<i>International Traffic Safety Data and Analysis Group</i>
MS	Ministério da Saúde
OECD	<i>Organization for Economic Co-operation and Development</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
PIARC	<i>Permanent International Association of Road Congresses</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PNCV	Plano Nacional de Controle de Velocidade
PRF	Polícia Rodoviária Federal
RTA	<i>Roads and Traffic Authority</i>
SCV	Sistema de Controle de Velocidade
SHT	Segmento Homogêneo de Tráfego
SHV	Segmento Homogêneo de Velocidade
SIM	Sistema de Informações sobre Mortalidade
TRB	<i>Transportation Research Board</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

UPS
VMD
WHO

Unidade Padrão de Severidade
Volume Médio Diário
World Health Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	29
1.1 OBJETIVO GERAL.....	30
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	30
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	33
2.1 ACIDENTES DE TRÂNSITO	33
2.1.1 Fatores contribuintes aos acidentes	34
2.1.1 Classificação dos tipos de acidentes	42
2.1.2 Estatística de acidentes de trânsito	43
2.1.3 Custos dos acidentes de trânsito.....	52
2.2 VELOCIDADE E SEGURANÇA VIÁRIA.....	53
2.2.1 Conceitos relativos à velocidade.....	54
2.2.1.1 Velocidade instantânea.....	54
2.2.1.2 Velocidade pontual.....	54
2.2.1.3 Velocidade média no tempo	54
2.2.1.4 Velocidade média de viagem	54
2.2.1.5 Velocidade de fluxo livre	55
2.2.1.6 Velocidade de projeto ou velocidade diretriz.....	55
2.2.1.7 Velocidade operacional ou V85	57
2.2.1.8 Velocidade regulamentada	58
2.2.2 Influência da velocidade na ocorrência de acidentes.....	62
2.2.3 Influência da velocidade na gravidade de acidentes.....	68
2.2.4 Diferenças de velocidades entre trechos sucessivos e a segurança viária	73
2.2.5 O controle da velocidade e o valor do tempo	74

2.3 PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIA E SEGURANÇA VIÁRIA	76
2.3.1 Concordância horizontal e raio de curvatura.....	78
2.3.2 Concordância vertical e distâncias de visibilidade	80
2.3.3 Condições do pavimento	82
2.4 GERENCIAMENTO DA SEGURANÇA VIÁRIA.....	83
2.4.1 Programas de segurança viária.....	85
2.4.2 Métodos para identificação de locais e segmentos críticos em acidentes de trânsito.....	87
2.4.2.1 Métodos numéricos	89
2.4.2.2 Métodos estatísticos	92
2.4.2.3 Método da técnica de conflitos	92
2.4.2.4 Método da auditoria de segurança viária.....	93
2.5 CONTROLE DE VELOCIDADE.....	93
2.5.1 Dispositivos físicos de controle de velocidade	95
2.5.1.1 Sinalização	95
2.5.1.2 Ondulações transversais e sonorizadores	100
2.5.2 Dispositivos eletrônicos de controle da velocidade	100
2.5.2.1 Classificação dos equipamentos quanto ao tipo de instalação .	103
2.5.2.2 Classificação dos equipamentos quanto à tecnologia utilizada	106
2.5.3 Fatores prioritários no controle de velocidade	115
2.5.3.1 Controle de velocidade com foco no segurança viária.....	115
2.5.3.2 Controle de velocidade com foco no gerenciamento de tráfego	116
2.5.3.3 Controle de velocidade com foco em questões ambientais	124
2.6 ASPECTOS LEGAIS PARA A IMPLANTAÇÃO DE MEDIDORES ELETRÔNICOS DE VELOCIDADE.....	126
2.6.1 Código de Trânsito Brasileiro – CTB	126
2.6.2 Resoluções do CONTRAN.....	130

2.6.3 Competência dos órgãos rodoviários no controle da velocidade	132
3 PESQUISA E PRÁTICA DOS SISTEMAS DE CONTROLE DE VELOCIDADE	135
3.1 PESQUISAS E PRÁTICAS SOBRE SISTEMAS DE CONTROLE DE VELOCIDADE NO MUNDO	135
3.1.1 Estados Unidos.....	136
3.1.2 Holanda	136
3.1.3 Alemanha	137
3.1.4 Austrália.....	137
3.1.5 Itália.....	138
3.1.6 Bélgica.....	142
3.1.7 Reino Unido.....	142
3.1.8 Espanha	143
3.1.9 Portugal	145
3.1.10 Áustria	145
3.2 PESQUISA E PRÁTICAS SOBRE SISTEMAS DE CONTROLE DE VELOCIDADE NO BRASIL.....	147
4 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO DE CONTROLADORES DE VELOCIDADE NA SEGURANÇA VIÁRIA	153
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS TRECHOS ANALISADOS	154
4.2 ANÁLISE DOS ACIDENTES OCORRIDOS ANTES E APÓS A INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE VELOCIDADE.....	157
4.2.1 Análise de pontos específicos de controle de velocidade	164
5 MÉTODO PROPOSTO	173
5.1 FASE I – MÉTODO PARA CONCEPÇÃO DE SISTEMA DE CONTROLE DE VELOCIDADE.....	174
5.1.1 Etapa I - Identificação e caracterização da rede viária.....	177
5.1.2 Etapa II - Levantamento de dados de acidentes	178

5.1.3	Etapa III - Levantamento de dados de tráfego	180
5.1.4	Etapa IV - Levantamento dos equipamentos existentes.....	180
5.1.5	Etapa V - Análise de segmentos	181
5.1.5.1	Etapa V.1 - Determinação dos segmentos homogêneos de tráfego e velocidade.....	182
5.1.5.2	Etapa V.2 - Determinação dos segmentos críticos	183
5.1.5.3	Etapa V.3 - Priorização dos segmentos críticos	185
5.1.5.4	Etapa V.4 - Definição dos equipamentos	186
5.1.6	Etapa VI - Análise de pontos notáveis e pontos críticos.....	188
5.1.6.1	Etapa VI.1 - Determinação de pontos notáveis e pontos críticos	189
5.1.6.2	Etapa VI.2 - Priorização de pontos notáveis e pontos críticos ..	191
5.1.6.3	Etapa VI.3 - Definição dos equipamentos.....	192
5.1.6.4	Etapa VI.4 - Locais para implantação	194
5.2	FASE II - MÉTODO PARA GESTÃO DE SISTEMA DE CONTROLE DE VELOCIDADE.....	196
5.2.1	Etapa I - Atualização dos dados de acidentes	198
5.2.2	Etapa II - Atualização dos dados de tráfego	198
5.2.3	Etapa III - Atualização dos segmentos homogêneos de tráfego e de velocidade	199
5.2.4	Etapa IV - Atualização dos pontos notáveis.....	200
5.2.5	Etapa V - Levantamento dos equipamentos existentes	201
5.2.6	Etapa VI - Análise de segmentos.....	201
5.2.7	Etapa VII - Análise de pontos notáveis e pontos críticos	202
5.2.8	Etapa VIII - Pesquisa de opinião pública.....	203
6	Exemplo ilustrativo para aplicação do método para concepção de sistemas de controle de velocidade	207
6.1	ETAPA I - IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REDE VIÁRIA	207

6.2	ETAPA II - LEVANTAMENTO DE DADOS DE ACIDENTES	208
6.3	ETAPA III - LEVANTAMENTO DE DADOS DE TRÁFEGO ..	209
6.4	ETAPA IV - LEVANTAMENTO DE EQUIPAMENTOS EXISTENTES.....	209
6.5	ETAPA V - ANÁLISE DE SEGMENTOS	210
6.5.1	Etapa V.1 - Determinação dos segmentos homogêneos de tráfego e de velocidade	210
6.5.2	Etapa V.2 - Determinação dos segmentos críticos	214
6.5.3	Etapa V.3 - Priorização dos segmentos críticos	215
6.5.4	Etapa V.4 - Definição dos equipamentos	215
6.6	ETAPA VI - ANÁLISE DE PONTOS NOTÁVEIS E PONTOS CRÍTICOS	216
6.6.1	Etapa VI.1 - Determinação dos pontos notáveis e pontos críticos	216
6.6.1.1	Pontos notáveis.....	217
6.6.1.2	Pontos críticos	217
6.6.2	Etapa VI.2 - Priorização dos pontos notáveis e pontos críticos	219
6.6.3	Etapa VI.3 - Definição dos equipamentos.....	221
6.6.4	Etapa VI.4 - Pontos para implantação.....	223
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	225
7.1	CONCLUSÕES	225
7.2	RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS	226
	REFERÊNCIAS	229
	ANEXO	243

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU) (2013), as mortes ocorridas no trânsito totalizam 1,3 milhão de pessoas por ano, sendo esta a nona causa de mortes em todo o mundo. Além disso, os acidentes de trânsito resultam em 20 a 50 milhões de pessoas feridas a cada ano, sendo uma das principais causas de mortes no Brasil. Somente no ano de 2013, de acordo com dados do Ministério da Saúde (MS, 2013), mais de 40 mil pessoas perderam suas vidas no trânsito no país.

Apesar dos avanços na questão da segurança viária trazidos pelo novo Código de Trânsito Brasileiro (CTB), em vigor desde janeiro de 1998, bem como o aprimoramento da legislação, os acidentes de trânsito ainda produzem dados alarmantes para toda a sociedade brasileira. O excesso de velocidade praticado pelos motoristas é uma das causas principais dos acidentes de trânsito. A relação entre o número e a gravidade dos acidentes se evidencia na medida em que o aumento de velocidade proporciona maior dificuldade para controlar o veículo e menor tempo de ação para realizar manobras de desvio ou frenagem do carro (Lopes e Porto Júnior, 2007). Quando o excesso de velocidade é praticado por ônibus ou caminhões, todas essas situações tornam-se ainda mais críticas, devido às suas características operacionais.

No ano de 2011, a ONU lançou um plano de ação global definido como a “Década de Ação pela Segurança Viária”, com o *slogan* “Juntos podemos salvar milhões de vidas”. Neste plano, governos de diversos países, incluindo o Brasil, se comprometeram a estabelecer medidas para prevenir acidentes de trânsito.

Uma das maiores preocupações dos órgãos responsáveis pelo planejamento do trânsito e da comunidade científica é encontrar soluções que possam reduzir o número de mortes e feridos nos acidentes de trânsito. Sabendo-se que de acordo com dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF), um grande percentual de acidentes de trânsito tem como causa “velocidade incompatível” praticada pelos motoristas nas rodovias brasileiras, o tema definido nesta tese é de grande relevância, tendo uma justificativa plausível para estudos voltados à concepção e gestão de sistemas de controle de velocidade em rodovias.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal dessa pesquisa é desenvolver um método para concepção e gestão de sistemas de controle de velocidade em redes rodoviárias, com base em fatores relacionados à segurança viária.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral desta pesquisa, os seguintes objetivos específicos são estabelecidos:

- Avaliar o impacto da instalação de equipamentos de controle de velocidade em relação ao número de acidentes ocorridos;
- Avaliar o impacto da instalação de equipamentos de controle de velocidade em relação à gravidade dos acidentes ocorridos;
- Estabelecer critérios para priorização de trechos a serem contemplados com sistemas de controle de velocidade em rodovia;
- Estabelecer critérios para priorização de pontos a serem contemplados com sistemas de controle de velocidade em rodovia;
- Definir procedimentos para a definição de equipamentos em trechos e pontos da rodovia.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A apresentação do trabalho está organizada da seguinte forma:

- Capítulo 1: Introdução do tema objeto de pesquisa, no intuito de integrar o leitor ao problema, aos objetivos da pesquisa e ao panorama do trabalho.
- Capítulo 2: Descreve conceitos acerca de acidente de trânsito, velocidade e segurança viária, fiscalização eletrônica de velocidade e aspectos legais para implantação de equipamentos para controle de velocidade.
- Capítulo 3: Apresenta pesquisas e práticas de sistemas de controle de velocidade utilizados no Brasil e em outros países.
- Capítulo 4: Avalia o impacto do uso de controladores de velocidade em relação à segurança viária
- Capítulo 5: Apresenta o método proposto para concepção e gestão de sistemas de controle de velocidade.

- Capítulo 6: Descreve um exemplo ilustrativo para aplicação do método de concepção de um sistema de controle de velocidade.
- Capítulo 7: Apresenta as conclusões da pesquisa e as perspectivas sobre o tema pesquisado para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo apresenta inicialmente os conceitos relacionados a acidentes de trânsito e sua relação com o controle de velocidade, parâmetros importantes a partir dos quais foram definidos os procedimentos apresentados neste trabalho.

Em seguida serão apresentadas as principais definições de velocidade encontradas na literatura especializada em engenharia de tráfego e projeto geométrico de rodovias. Além disso, serão apresentados fatores que influenciam na velocidade veicular, bem como a relação entre as velocidades e os acidentes de trânsito.

Na sequência serão apresentados os equipamentos utilizados na fiscalização eletrônica de velocidade, sendo estes classificados quanto ao tipo de instalação e quanto à tecnologia utilizada.

Ao final deste capítulo serão apresentados os aspectos legais para a implantação de medidores eletrônicos de velocidade, incluindo definições do Código de Trânsito Brasileiro – CTB e da Resolução 396 do Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN.

2.1 ACIDENTES DE TRÂNSITO

Segundo a definição da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2009), um acidente é um evento independente do desejo do homem, causado por uma força externa, alheia, que atua subitamente, de forma inesperada, e deixa ferimentos no corpo e na mente, sendo que um acidente de trânsito é todo acidente com veículo ocorrido na via pública (IPEA, 2006).

O *Highway Capacity Manual* (HCM, 2000) define um acidente como sendo "qualquer ocorrência em uma estrada que impede o fluxo de tráfego normal". O *Traffic Engineering Handbook* apresenta um acidente como uma falha do sistema rodovia / veículo / motorista na execução de uma ou mais operações necessárias à realização de uma viagem sem danos materiais ou pessoais, cujos fatores causais poderão ser encontrados nos pontos em que essas operações foram erradas. A causa necessária e suficiente para a ocorrência de um acidente de trânsito é a combinação de fatores sequenciais e simultâneos, cada um dos quais necessários, mas nenhum deles suficientes por si só (ITE, 1992).

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT define acidente de trânsito como uma ocorrência fortuita ou não, em decorrência do envolvimento em proporções variáveis do homem, do veículo, da via e demais elementos circunstanciais, da qual tenha resultado ferimento, dano, estrago, avaria, ruína, etc. (DNIT, 2010).

De acordo com a norma ABNT NBR 10697 (ABNT, 1989), da Associação Brasileira de Normas Técnicas, acidente de trânsito é:

“todo evento não premeditado de que resulte dano em veículo ou na sua carga e/ou lesões em pessoas e/ou animais, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres abertas ao público” (ABNT, 1989).

EVANS (2004) afirma que o uso do termo acidente é inadequado para uso técnico, pois passa a noção de que o evento ocorreu por pura fatalidade ou era imprevisível. Isto contradiz uma das próprias funções da área de segurança de trânsito, que é examinar os fatores que influenciam a probabilidade de ocorrerem tais eventos, muitas vezes previsíveis.

Enquanto a literatura especializada internacional pouco utiliza o termo *accident* (acidente, em inglês), no Brasil ainda é utilizada à expressão “acidente de trânsito”. De acordo com Chagas (2011), os termos *crash* e *collision* são mais utilizados por não transmitirem a conotação de que podem ser previstos. Porém, a tradução destes termos torna-se inadequada para uso no Brasil, uma vez que o termo *collision* (colisão) define um tipo de acidente, enquanto que *crash* (impacto) define um momento do acidente.

As consequências dos acidentes de trânsito vão desde um simples dano material até a perda de vidas humanas. Entre esses extremos, ocorrem ainda ferimentos leves, lesões graves e permanentes, que atingem tanto aos ocupantes dos veículos, como a pedestres e ciclistas. Causam também prejuízos de caráter psicológico de difícil mensuração, incluindo diminuição na qualidade de vida dos acidentados (Lopes, 2010).

2.1.1 Fatores contribuintes aos acidentes

O acidente de trânsito geralmente não ocorre em função de um único fator. Portanto, no processo de análise das causas, torna-se necessário conhecer e classificar todos os fatores contribuintes para a ocorrência do evento, além de entender a relação existente

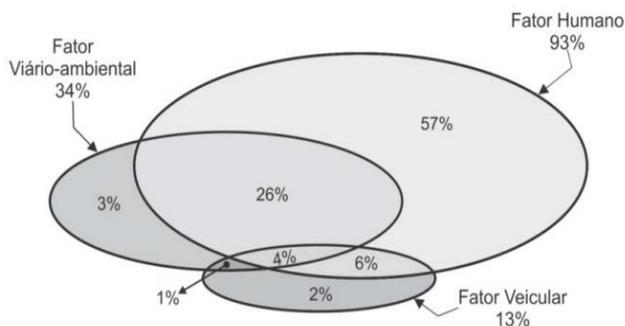
entre eles, a fim de encontrar medidas eficazes para mitigação dos mesmos (Cupollilo, 2006).

Dentre os fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes de trânsito, destacando-se três grupos básicos, frequentemente relacionados entre si:

- Fator humano;
- Fator veicular;
- Fator viário-ambiental.

Segundo Chagas (2011), pesquisas mostram que a ocorrência de acidentes é consequência de pelo menos um fator dos três grupos de fatores contribuintes. Deste modo, ao relacionar os fatores humanos com os fatores associados ao veículo e ao viário-ambiental, incluindo a via e seu entorno, têm-se um somatório de fatores que nem sempre proporciona um resultado adequado e seguro aos usuários. De acordo com a *World Road Association* (PIARC, 2003), com base em estimativas internacionais, os fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes se inter-relacionam conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Fatores que contribuem para a ocorrência de acidentes de trânsito e sua inter-relação



Fonte: PIARC (2003)

De acordo com a Figura 1, 93% dos acidentes estão relacionados ao fator humano, sendo que em 57% dos acidentes é o único fator contribuinte aos acidentes. O restante dos acidentes relacionados ao fator humano, ou seja, 36% dos acidentes estão inter-relacionados com o fator viário-ambiental e o fator veicular.

Em geral, os acidentes de trânsito ocorrem por falha de um ou mais elementos que compõem o sistema veículo x homem x via. Um distúrbio momentâneo ou uma deficiência inerente a qualquer um destes elementos pode levar a uma situação de perigo. Quando um fator isoladamente é suficiente para explicar a ocorrência, se dizer que este fator é a causa principal do acidente. Geralmente os acidentes são ocasionados por uma série de fatores atuando em conjunto, os denominados fatores contribuintes (Didoné, 2000).

Diversos órgãos de transportes de diferentes estados americanos e do Reino Unido apontam situações correspondentes a cada uma dos fatores contribuintes à ocorrência de acidentes (DfT, 2011; WSP, 2014; SCDPS, 2012), sendo estes incluídos em Boletins de Acidentes de Trânsito – BATs. Algumas situações levantadas nas pesquisas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores contribuintes e prováveis causas dos acidentes

Fator Contribuinte	Prováveis causas	
Fator humano	Imprudência do motorista	Desobediência do limite de velocidade, ultrapassagem indevida, influência de álcool e drogas, dirigir sem distância segura, trafegar na contramão, etc.
	Erros ou reação do motorista	Falha na preferencial, avanço de semáforo ou cruzamento, desobediência da sinalização, falha ao julgar a distância e/ou velocidade do outro veículo, frear bruscamente, etc.
	Distração do motorista	Uso de equipamentos eletrônicos, distração externa ao veículo ou com passageiros, etc.

Continuação Tabela 1

Fator Contribuinte	Prováveis causas	
Fator humano	Comportamento ou inexperiência	Dirigir agressivamente, nervoso ou em pânico, dirigir muito devagar para as condições de tráfego, inexperiência com o veículo, etc.
	Visão prejudicada	Objeto fixo sem visibilidade, ofuscamento por faróis ou sol, veículo no ponto cego, etc.
	Ações do pedestre ou ciclista envolvido	Desatenção, não visível (uso de roupas escuras), desconsiderar sinalização, próximo ao fluxo de veículos, etc.
Fator veicular	Condições do veículo	Freios com defeito, faróis com defeito ou queimados, luz indicadora de direção queimada, pneu liso, pneu furado ou estourado, defeito no mecanismo da direção, perda de potência, etc.
Fator viário-ambiental	Condições da superfície da via	Pista molhada, presença de neve, lama ou gelo, óleo na pista, água na pista, defeitos no pavimento, etc.
	Condições da sinalização	Ausência de sinalização horizontal, sinalização vertical ou dispositivos de segurança, ausência de manutenção das defensas metálicas, etc.

Continuação Tabela 1

Fator Contribuinte	Prováveis causas	
Fator viário-ambiental	Condições de iluminação da via	Luz do dia, alvorada, entardecer, sem iluminação pública, etc.
	Obra na pista	Trecho em obras, tráfego acumulado devido a obras, etc.
	Condições climáticas	Céu claro, parcialmente nublado, chovendo, nevando, neblina, fumaça, vento forte, etc.
	Presença de obstáculos na via	Presença de animais, objetos na pista, árvores, postes, etc.

Fonte: Adaptado de DfT (2011), WSP (2014) e SCDPS (2012)

Diversos estudos mostram que as falhas dos motoristas são o principal fator contribuinte na ocorrência de acidentes. O manual de projeto geométrico de rodovias da AASHTO, conhecido como *Green Book* (AASHTO, 2011), afirma que:

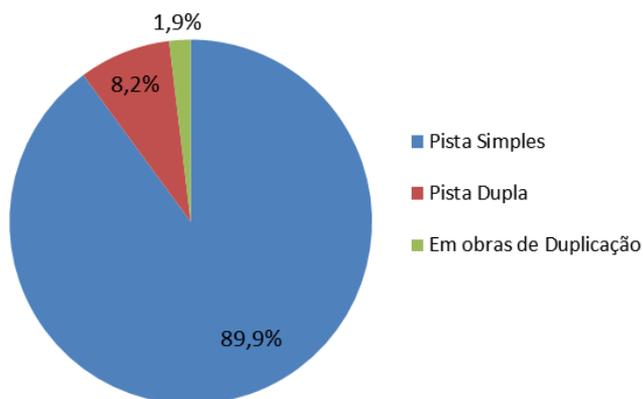
- O número de acidentes aumenta com o aumento do número de decisões exigidas do motorista, fruto das características do projeto;
- O fator de projeto mais importante para a promoção da segurança viária é o controle de acesso; estudos recentes mostram a relação em número de acidentes e número de pontos de acesso às rodovias;
- A velocidade é frequentemente um fator contribuinte dos acidentes, mas seu papel deve ser considerado no contexto das condições gerais do local do acidente; os acidentes estão mais relacionados com a variabilidade da velocidade (intervalo entre a maior e a menor velocidade) do que com a velocidade propriamente dita.

Um estudo desenvolvido por Coelho (1999) buscou analisar a influência das características físico-operacionais das vias na ocorrência de acidentes de trânsito nas rodovias federais. Em tal estudo foram

analisadas 20 variáveis, concluindo que 9 variáveis influenciam de forma significativa nos acidentes, sendo elas: existência ou não de interseção, meio fio, sarjeta, curva vertical, sinalização vertical, área edificada, tipo de pista (simples ou dupla), traçado (curva ou tangente) e o dia da semana.

Analisando os dados do Sistema Nacional de Viação (SNV) de 2014, as rodovias brasileiras totalizam uma extensão de 1.691.522 km, das quais apenas 203.599 km são pavimentadas, isto é, 12,0% da malha. Em relação às rodovias pavimentadas, 65.930 km são federais. Destas, apenas 8,2% são de pista dupla (5.446 km) e 1,9% (1.316 km) são vias em obras de duplicação; os demais 89,9% são de pista simples, como mostra a Figura 2.

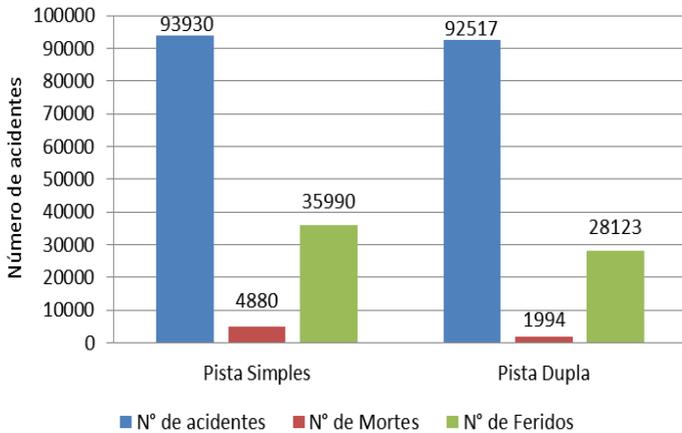
Figura 2 - Caracterização da malha rodoviária federal



Fonte: Adaptado de CNT (2014)

É importante ressaltar que, embora a presença de pista dupla não seja um pressuposto essencial ao adequado nível de serviço, vias duplicadas propiciam o aumento na capacidade de tráfego e um grau mais elevado de segurança. Através da análise dos acidentes ocorridos em relação ao tipo de pista, simples ou dupla, é possível verificar uma diferenciação principalmente na gravidade dos acidentes ocorridos, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Acidentes ocorridos em rodovias federais em função do tipo de pista

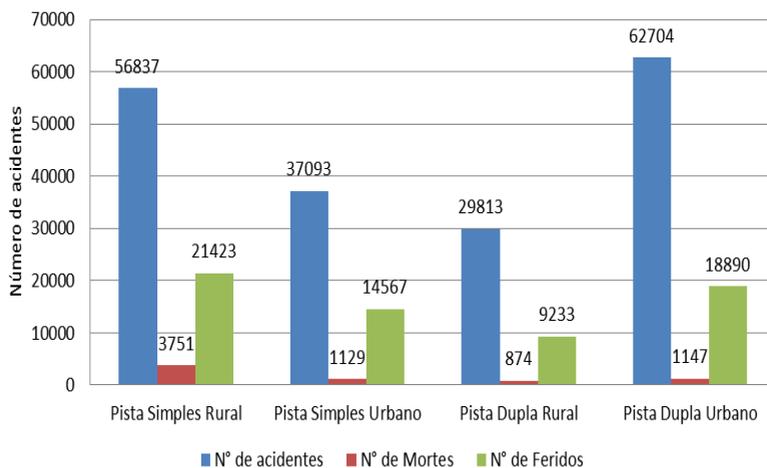


Fonte: Adaptado de PRF (2014)

Por meio da Figura 3, é possível verificar que em relação ao total de acidentes com mortes ocorridos em rodovias federais no ano de 2013, ou seja, 6874 acidentes, aproximadamente 71% dos acidentes com mortes ocorrem em rodovias de pista simples. Em relação ao número de acidentes com feridos, em rodovias de pista simples este número representa aproximadamente 56% do total de acidentes com feridos ocorridos em rodovias federais.

Através da análise dos acidentes ocorridos em rodovias federais no ano de 2013, foi possível obter um panorama dos acidentes ocorridos em função do tipo de pista e ocupação do solo, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Acidentes ocorridos em rodovias federais em função do tipo de pista e ocupação do solo



Fonte: Adaptado de PRF (2014)

Através da análise da Figura 4, verifica-se que os trechos de rodovia com pista dupla e ocupação urbana representam os trechos onde foi registrado o maior número de acidentes. Os trechos de pista simples rural, apesar de terem o segundo lugar no número de acidentes registrados, foram os trechos com maior número de acidentes com mortes registrados, ou seja, 3751 acidentes. Além disso, os trechos de pista simples rural registraram o maior número de acidentes com feridos nas rodovias federais brasileiras, ou seja, 21423 acidentes com feridos.

Moukarzel (1999) salienta a importância da sinalização vertical e horizontal das vias para a redução dos conflitos de trânsito, destacando-se esta última como mais importante para produzir segurança nos casos de condições adversas: efeito obscuridade (à noite), efeito crepuscular (manhãs e tardes), nos densos nevoeiros e em dias de chuva.

Não há dúvida da importância da análise dos fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes e da urgência de medidas preventivas e corretivas para redução dos alarmantes números de acidentes e suas gravidades. Estudos e pesquisas, elaborados no Brasil e outros países, indicam que a inadequação dos veículos, da sinalização viária, além da construção e manutenção das vias e calçadas são fatores contribuintes em muitos acidentes (Gold, 1998).

É possível reduzir significativamente o número de acidentes através da engenharia de tráfego, gerando grandes melhoras sociais independentemente da ocorrência de mudanças na conduta das pessoas no trânsito (Gold, 1998). Uma vez que os acidentes de trânsito têm, normalmente, mais de um fator contribuinte para sua ocorrência, a eliminação de qualquer um dos fatores pode reduzir a probabilidade de ocorrer o acidente (França, 2008).

2.1.1 Classificação dos tipos de acidentes

De acordo com a norma ABNT/NBR 10697:1989, os acidentes de trânsito são classificados em:

- Atropelamento: Acidente em que o (s) pedestre(s) ou animal(is) sofre(m) o impacto de um veículo, estando pelo menos uma das partes em movimento;
- Colisão Traseira: acidente entre dois veículos em movimento, ambos no mesmo sentido;
- Colisão Frontal: acidente entre dois veículos em movimento, ambos em sentidos opostos;
- Colisão Lateral: acidente entre veículos onde são atingidos longitudinalmente sendo que ambos estão em movimento, podendo ocorrer no mesmo sentido ou em sentidos opostos;
- Colisão Transversal: Acidente que ocorre transversalmente quando os veículos transitam em direção que se cruzam, ortogonal ou obliquamente, geralmente ocorre em interseções e saídas de estacionamentos;
- Choque: acidente em que um veículo em movimento atinge um obstáculo fixo ou móvel sem movimento (poste, defesa, muro, poste, etc.), inclusive outro veículo parado ou estacionado;
- Capotamento: acidente quando o veículo em movimento gira sobre si mesmo, em qualquer sentido, ficando com as rodas para cima, mesmo que momentaneamente;
- Tombamento: acidente quando o veículo em movimento tomba lateralmente ou frontalmente;
- Saída de pista: acidente quando o veículo em movimento por qualquer motivo sai da pista, podendo por muitas vezes ser seguido de outro tipo de acidente, como capotamento, tombamento, atropelamento, etc.);

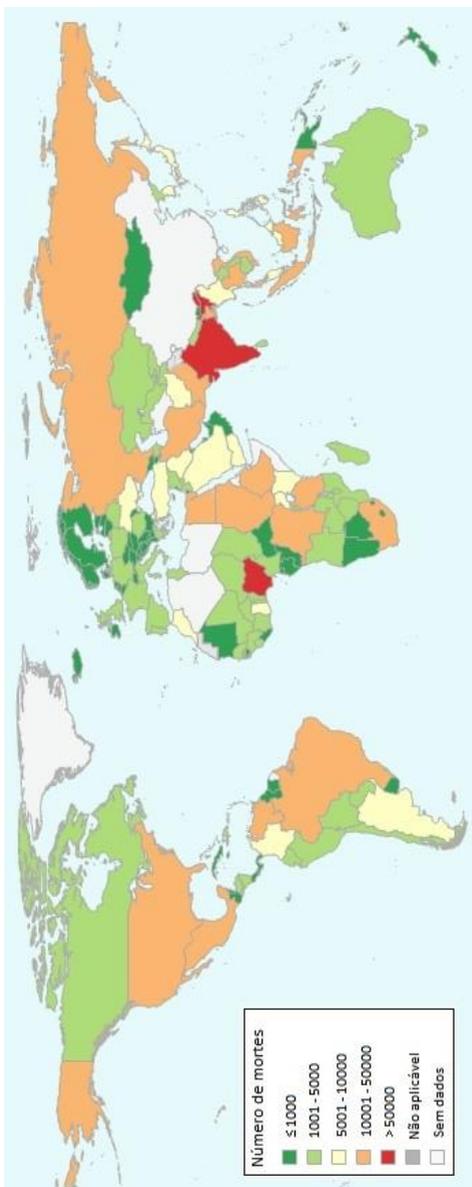
- Queda: Acidente em que há impacto em razão de queda livre do veículo, ou queda de pessoas ou cargas por ela transportadas;
- Outros: qualquer outro acidente que não se enquadre em nenhuma das categorias anteriores, (incêndio, soterramento, submersão, explosão, etc.).

2.1.2 Estatística de acidentes de trânsito

Para uma correta interpretação das estatísticas de acidentes é importante que as informações contidas nos registros de acidentes sejam corretas, de tal forma que se possa identificar o problema, estudar as possíveis causas e encontrar soluções. Assim, a informação é a base de todo o processo, sendo, portanto, necessário que se saiba como captá-la, depurá-la, organizá-la, armazená-la, controlá-la, analisá-la e divulgá-la, formando-se, então, um sistema de gerenciamento da informação (DENATRAN, 2001). Para tanto, algumas medidas podem e devem ser tomadas, muitas das quais de baixo custo, que permitam a mudança do quadro atual. Essas medidas só se mostrarão eficazes se forem baseadas em análises e estudos corretos das informações.

A Organização Mundial de Saúde (WHO, 2014), através das estatísticas de acidentes de diversos países do mundo, apontou a Índia como o país “número um” em mortes no trânsito no ano de 2010, totalizando 231.027 mortes, como indica a Figura 5.

Figura 5 - Mapa da mortalidade no trânsito no mundo

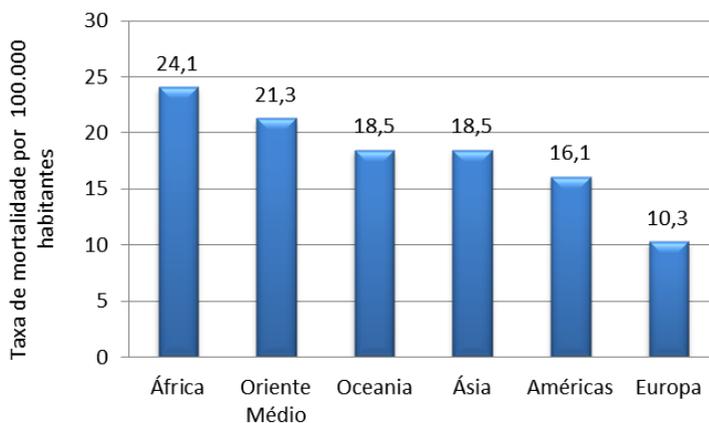


Fonte: Adaptado de WHO (2014)

Na sequência do ranking vem Nigéria, com 53.339 mortes; Brasil com 43.869 mortes; Indonésia com 42.434 mortes e Estados Unidos com 35.490 mortes. Estes são números absolutos de mortes no trânsito, apresentados no intuito de ressaltar a gravidade destes números no cenário mundial.

Analisando as taxas de mortalidade no trânsito de acordo com as regiões do mundo, apresentadas na Figura 6, a região da África apresenta a maior taxa, sendo esta igual a 24,1 mortes para cada 100 mil habitantes. A região da Europa apresenta a menor taxa, sendo esta igual a 10,3 mortes para cada 100 mil habitantes.

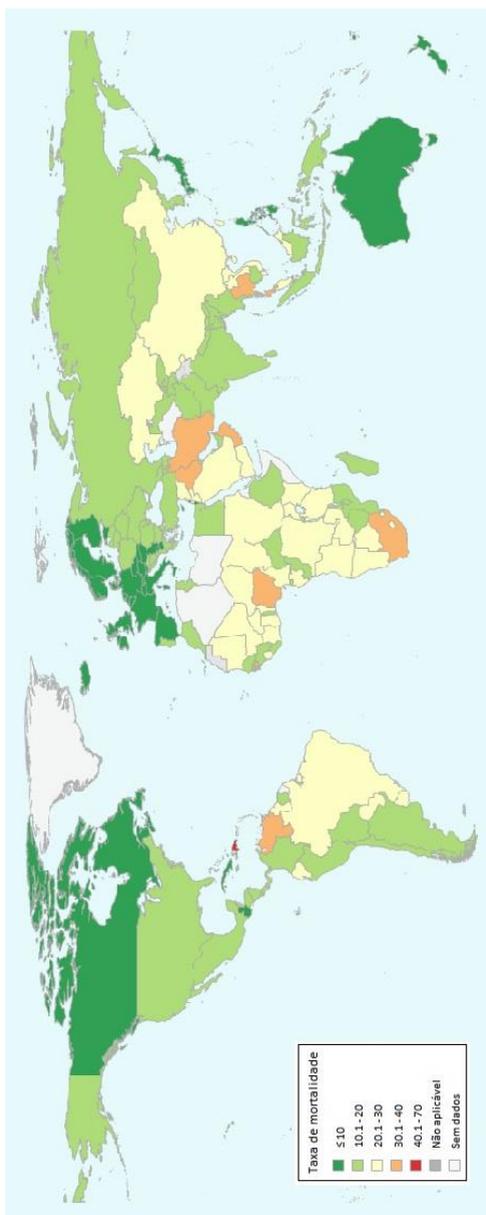
Figura 6 - Taxa de mortalidade por 100 mil habitantes relativa a acidentes de trânsito no mundo



Fonte: Adaptado de WHO (2014)

A Figura 7 mostra o mapa onde são apresentadas as taxas de mortalidade no trânsito por país no ano de 2010 (WHO, 2014).

Figura 7 - Mapa da taxa de mortalidade no trânsito no mundo



Fonte: Adaptado de WHO (2014)

As cores do mapa apresentado na Figura 7 indicam as taxas de mortalidade, sendo a cor verde claro predominante no mundo, cuja taxa de mortalidade varia de 10 a 20 mortes a cada 100 mil habitantes. A segunda taxa de mortalidade com maior frequência no mundo corresponde à taxa de mortalidade que varia entre 20 a 30 mortes a cada 100 mil habitantes.

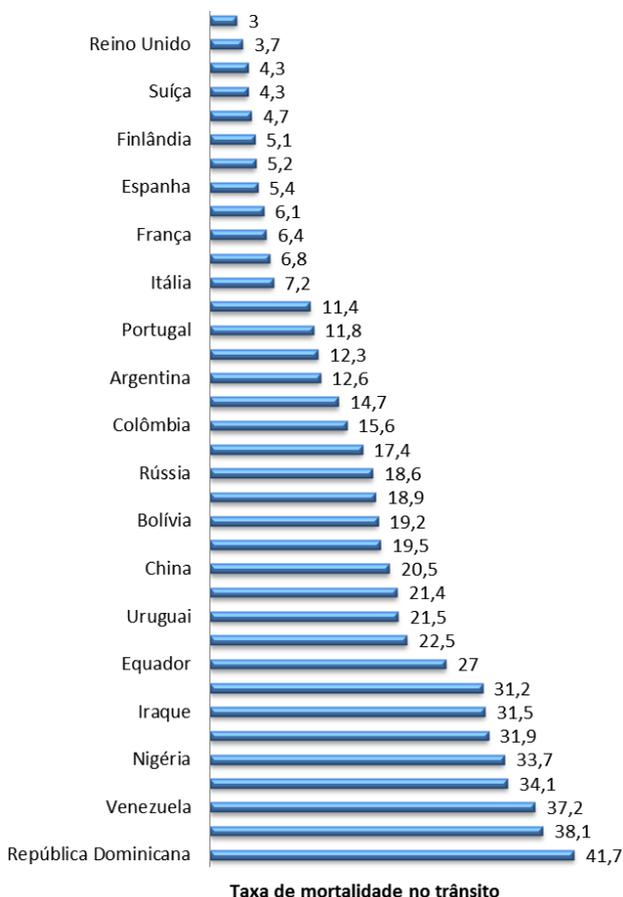
Ainda de acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2013), alguns dos países que apresentam taxas de mortalidade na faixa de 20,1 a 30 mortes/100 mil habitantes são: Equador, com taxa de mortalidade igual a 27; China, com taxa de 20,5 e Arábia Saudita, com taxa igual a 24,8.

Alguns países com taxa de mortalidade no trânsito igual 30,1 a 40 são: Venezuela, com taxa de mortalidade igual a 37,2, África do Sul com taxa igual a 31,9, Tailândia com taxa igual a 38,1. A República Dominicana apresenta taxa de 41,7 mortes por 100 mil habitantes, a mais alta do mundo. O ranking da taxa de mortalidade de alguns países está apresentado na Figura 8.

Por meio da Figura 8, verifica-se que, de acordo com a Organização Mundial de Saúde, o Brasil apresenta uma taxa de 22,5 mortes a cada 100 mil habitantes, estando em condições piores que o Uruguai, Paraguai, China, Bolívia, Índia, Colômbia, Argentina, Chile, Estados Unidos, Canadá, dentre outros.

No Brasil, apesar da precariedade do processo de registro, coleta e tratamento de dados de acidentes, as estatísticas oficiais mostram um expressivo número de mortes em acidentes de trânsito (IPEA, 2003). Diversas são as fontes de dados de acidentes no Brasil, atendendo a diversas finalidades. Os acidentes são registrados em formulários chamados de Boletim de Acidente de Trânsito (BAT), não possuindo uma padronização nacional. Este registro tem por finalidade subsidiar ações penais e cíveis, requerimento de companhia de seguros e do seguro obrigatório de Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre (DPVAT), bem como realizar estudos e estatísticas de acidentes de trânsito. Apesar disto, muitas vezes os BATs não apresentam informações importantes para estudos de acidentes, como os fatores contribuintes para a ocorrência dos mesmos.

Figura 8 - Taxa de mortalidade no trânsito por país no mundo

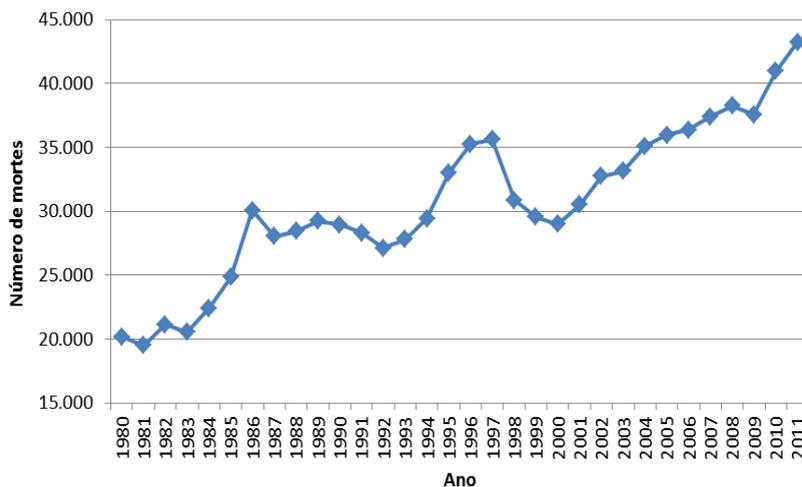


Fonte: Adaptado de WHO (2014)

De acordo com um estudo sobre mortalidade em decorrência de acidentes de trânsito no Brasil entre 1996 e 2008 (CESVI, 2013), foi verificado um forte impacto na diminuição de vítimas com o início da vigência do CTB (Código Brasileiro de Trânsito), com a redução de 13% nas mortes somente no primeiro ano. Os dados também mostram que a partir do ano 2000, quando a frota brasileira apresentou um forte crescimento, cerca de 50% em seis anos, o número de mortes voltou ao patamar pré-CTB, tendo assim, uma década de retrocesso.

Entre 1980 e 2011, foram registrados aproximadamente um milhão de óbitos nos diversos tipos de acidentes de trânsito ocorridos no país, como pode ser visto na Figura 9. O Sistema de Informações sobre Mortalidade - SIM, do Ministério da Saúde – MS, contabilizou nesse período, exatas 980.838 mortes em acidentes nas vias públicas no Brasil.

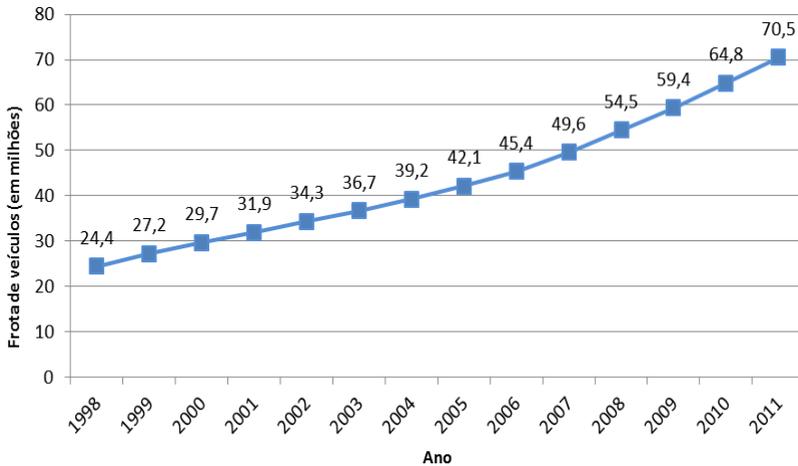
Figura 9 - Número de mortes no trânsito no Brasil, 1980 - 2011



Fonte: SIM/SVS/MS (Adaptado de Waiselfisz, 2013)

Schmitz (2011) cita que com o incentivo da economia capitalista, que destaca a mobilidade individual e a prosperidade material, o automóvel tornou-se um meio de transporte usado por indivíduos em particular, ocasionando o aumento da frota de veículos e o desenvolvimento da indústria automobilística. A Figura 10 apresenta o aumento da frota de veículos no Brasil no decorrer dos anos.

Figura 10 - Frota de veículos no Brasil

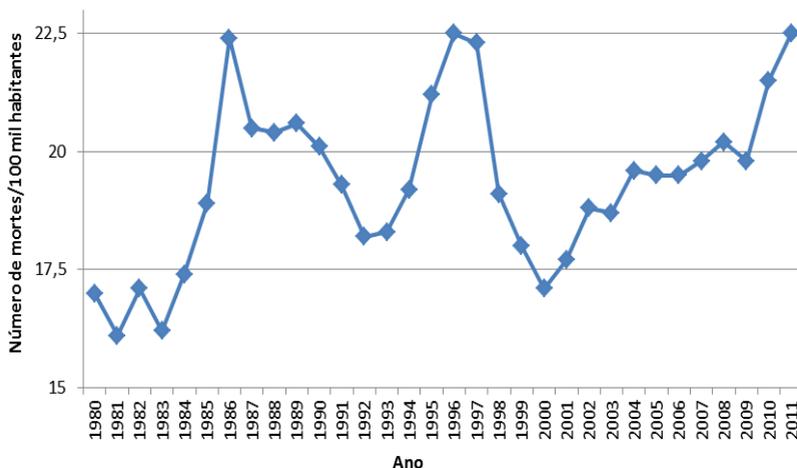


Fonte: DENATRAN ()

Como consequência deste incremento na frota de veículos no Brasil, a modalidade rodoviária cresceu juntamente com os problemas de segurança viária, nos quais os acidentes de trânsito estão incluídos e são causas das grandes preocupações em âmbito mundial (OECD, 2003).

A Figura 11 apresenta as taxas de mortalidade no trânsito a cada 100 mil habitantes. No final das décadas de 80 e 90, foram registradas inflexões na evolução da mortalidade por acidentes de trânsito, permitindo caracterizar três grandes períodos.

Figura 11 - Taxa de mortalidade por acidente de trânsito no Brasil



Fonte: SIM/SVS/MS (Adaptado de Waiselfisz, 2013)

A Figura 11 permite estabelecer uma relação entre o aumento da taxa de acidentes e a economia do país. No início de 1980 o país vivia “crise da dívida externa”, com paralisação do crescimento econômico. As taxas de acidentes voltaram a subir significativamente na recuperação econômica entre 1984 e 1986, ano em que foi lançado o Plano Cruzado.

As taxas de acidentes tiveram um decréscimo até 1992, ano do lançamento do Plano Collor, quando tiveram um novo aumento, principalmente após 1994, ano de lançamento do Plano Real. Até 1997, o Ministério da Saúde registrou aumento no número de mortes. A partir do novo Código de Trânsito, promulgado em setembro de 1997, até o ano 2000, o número de acidentes reduziu com o rigor do novo estatuto e as campanhas que este gerou. Esse efeito não foi uniforme em todos os estados brasileiros. Dentre as razões, poderiam ser relacionadas, entre outras razões, a maior rapidez ou demora em preparar e realizar a fiscalização das infrações de acordo com as novas regras estabelecidas pelo código.

A partir do ano 2000, é possível observar novos e marcados incrementos, da ordem de 4,8% ao ano, fazendo com que os quantitativos retornassem. Já em 2010, o Sistema de Informações sobre Mortalidade registrou aproximadamente 41 mil mortes no trânsito, sendo este número superado já no ano de 2011, quando os acidentes de trânsito resultaram em 43 mil mortes.

2.1.3 Custos dos acidentes de trânsito

Os acidentes de trânsito são problemas tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento, com a diferença de que nos desenvolvidos já foram implementadas muitas medidas para conter a violência no trânsito ao longo dos anos. Com isto, estes países têm conseguido estabilizar e até mesmo reduzir os índices de acidentes, porém com custos elevados (WHO, 2013).

De acordo com pesquisa divulgada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), em 2008 foram gastos aproximadamente R\$ 6,4 bilhões com acidentes nas rodovias federais. Esse custo é medido levando em consideração uma série de fatores: além do tratamento médico-hospitalar, contabiliza-se os danos causados aos veículos, os prejuízos gerados com os congestionamentos que os acidentes provocam, a perda de rendimentos futuros – em caso de morte, invalidez ou incapacidade temporária das vítimas trabalharem, a operação dos sistemas de atendimento e até mesmo os custos subjetivos causados pela dor e o sofrimento das pessoas.

Dados divulgados pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), no Congresso Internacional de Trânsito, em 2012, revelou que o custo anual dos acidentes de trânsito no Brasil é de aproximadamente R\$ 40 bilhões. Este valor equivale aos dados tabulados em 2005 e 2006. Dentro desse número, está o custo com acidentes em aglomerados urbanos, superior a R\$ 9 bilhões, e o custo dos acidentes em rodovias, de aproximadamente R\$ 30 bilhões (IPEA, 2012).

A pesquisa do IPEA apontou que o custo médio unitário de um acidente com morte em rodovia no Brasil é de mais de R\$ 566 mil. O custo é formado basicamente por dois componentes, a perda de produção e danos à propriedade. No quesito perda de produção, estima-se o quanto a vítima produziria segundo sua classe social, de acordo com a expectativa de vida do brasileiro. Ainda no que tange a custos, um acidente com feridos em rodovias no País custa em média R\$ 116 mil. Quando se fala de acidentes em aglomerados urbanos, um acidente com vítima fatal tem o custo de R\$ 229 mil e um acidente com feridos chega à quantia de R\$ 27 mil.

Segundo Moukarzel (1999), subestimação dos prejuízos humanos, a falta de uma apreciação mais cuidadosa dos acidentes com vítimas fatais e a não contabilização dos prejuízos dos acidentes não fatais, podem ser apontados como algumas das possíveis causas para que as autoridades e

a própria população tenham demorado a perceber a gravidade do problema e seus efeitos para o indivíduo e para sociedade.

Um aspecto que aumenta a gravidade relativa de uma fatalidade em um acidente de trânsito é o fato de atingir mais frequentemente pessoas mais jovens e em sua idade mais produtiva. Estas se expõem mais aos riscos devido às necessidades de deslocamento impostas por suas atividades profissionais, sociais ou escolares (Vieira, 1999).

As estimativas internacionais dos custos com acidentes de trânsito apresentam a ordem de 1% a 3% do Produto Interno Bruto (PIB) de cada país. Os custos dos acidentes rodoviários, que incluem a perda de qualidade de vida, variam entre 0,5 a 5,7%, com média de 2,5% do PIB. Excluído o custo de qualidade de vida, os valores oscilam entre 0,32 e 2,8%, com média de 1,3% do PIB (Schmitz, 2011).

De acordo com o Relatório Técnico do iRAP - *International Road Assessment Programme* para o Estado de São Paulo (iRAP, 2014), o custo econômico de uma morte em decorrência de um acidente de trânsito é estimado em setenta vezes o Produto Interno Bruto (PIB) per capita. O custo econômico de uma lesão grave é estimado em 25% do custo econômico de uma morte. Desta forma, considerando nos acidentes ocorridos em toda a rede viária do Estado de São Paulo, o custo econômico das mortes e lesões graves foi estimado em US\$ 14,3 bilhões por ano.

O poder público tem, portanto, a obrigação de promover políticas específicas destinadas a reduzir estes impactos, com desenvolvimento e aplicação de amplos programas de redução de acidentes. Além de investir em projetos e obras que aumentem a segurança viária, esses programas devem abordar de forma mais ampla o fomento a educação para o trânsito, com a inserção de conceitos de percepção de risco no trânsito, além de melhorar a instrução para as novas habilitações e renovações, e implementar uma fiscalização mais ostensiva nas rodovias.

2.2 VELOCIDADE E SEGURANÇA VIÁRIA

Neste item serão apresentados alguns conceitos relativos à velocidade com foco na engenharia de tráfego, bem como a relação da velocidade na ocorrência e gravidade dos acidentes de trânsito. Além disso, será explanado como a diferença de velocidades entre trechos afeta

a segurança viária e como o valor dado ao tempo influencia a velocidade praticada nas rodovias brasileiras nos dias atuais.

2.2.1 Conceitos relativos à velocidade

Segundo Baerwald (1976), a velocidade é indicativa da qualidade do movimento de tráfego e é descrita pela distância que um veículo viaja em um dado intervalo de tempo. A velocidade (V) é a relação entre o espaço percorrido por um veículo (d) e o tempo gasto em percorrê-lo (t), ou seja, $V = d/t$. Em estudos de tráfego a velocidade é usualmente determinada em km/h. A velocidade é dentre as características essenciais do tráfego, uma das mais complexas para ser definida, pois assume várias formas, de acordo com o intervalo de tempo que é computado e com a base espacial sobre a qual é calculada. Os principais conceitos de velocidade utilizados são:

2.2.1.1 *Velocidade instantânea*

É a velocidade de um veículo em um instante determinado, correspondente a um trecho cujo comprimento tende para zero.

2.2.1.2 *Velocidade pontual*

A velocidade pontual é a obtida da medição da velocidade instantânea de um veículo em um determinado ponto ou seção da via.

2.2.1.3 *Velocidade média no tempo*

É a média aritmética das velocidades pontuais de todos os veículos que passam por um determinado ponto ou seção da via, durante intervalos de tempo finitos, ainda que sejam muito pequenos.

2.2.1.4 *Velocidade média de viagem*

Também chamada de velocidade média no espaço, é a velocidade em um trecho de uma via, determinada pela razão do comprimento do trecho pelo tempo médio gasto em percorrê-lo, incluindo os tempos em que, eventualmente, os veículos estejam parados.

2.2.1.5 Velocidade de fluxo livre

Refere-se à velocidade média dos veículos de uma determinada via, quando apresenta volumes baixos de tráfego e não há imposição de restrições quanto às suas velocidades, nem por interação veicular nem por regulamentação do trânsito. Reflete, portanto, a tendência do motorista dirigir na velocidade que deseja. Nessa situação a velocidade não é afetada por outro tráfego, mas sim pelas suas características físicas e de seu entorno (Schmidt, 2009).

2.2.1.6 Velocidade de projeto ou velocidade diretriz

Segundo o DNER (1999), a velocidade diretriz é a velocidade selecionada para fins de projeto da via e que condiciona as principais características da mesma, tais como: curvatura, superelevação e distância de visibilidade, das quais depende a operação segura e confortável dos veículos. De acordo com Lee (2002), a velocidade diretriz é, por definição, a maior velocidade com que um trecho de rodovia pode ser percorrido, com segurança, considerando apenas as limitações impostas pelas características geométricas da rodovia.

A determinação da velocidade de projeto adequada é um dos passos iniciais do planejamento e desenvolvimento de qualquer projeto de rodovia. A importância de sua seleção é fundamental, porque quase todos os critérios de projeto e de operação da rodovia e de sua área marginal são influenciados pela velocidade (DNIT, 2010b).

Para construção nova ou projetos de reconstrução, reabilitação e recapeamento, a velocidade de projeto deve satisfazer às expectativas dos usuários para o tipo e caráter da rodovia. Para o caso de reconstrução, reabilitação e recapeamento, deve refletir as velocidades de operação reais e não necessariamente o limite legal de velocidade.

O Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999) estabelece as seguintes classes de projeto:

- Classe 0 (zero) ou Especial, que corresponde ao melhor padrão técnico, com características técnicas mais exigentes. Trata-se de projeto de rodovia em pista dupla, com separação física entre as pistas, interseções em níveis distintos e controle total de acessos, com características de Via Expressa;
- Classe I: subdividida nas classes IA e IB. A Classe I-A corresponde

a projeto de rodovia com pista dupla, admitindo interseções no mesmo nível e com controle parcial de acessos, sendo a definição por esta classe feita com base em estudos de capacidade de rodovias. Já a Classe I-B corresponde a projeto de rodovia em pista simples, sendo indicada para os casos em que a demanda a atender é superior a 1.400 veículos por dia ou Volume Horário de Projeto de 200 veículos, mas não suficiente para justificar a adoção de classes de projeto superiores;

- Classe II: corresponde a projeto de rodovia em pista simples, cuja adoção é recomendada quando a demanda a atender a um Volume Médio Diário de 700 a 1400 veículos;
- Classe III: corresponde a projeto de rodovia em pista simples, sendo recomendada para o projeto de rodovias com Volume Médio Diário de 300 a 700 veículos;
- Classe IV: corresponde a projeto de rodovia em pista simples com características técnicas suficientes para atendimento mínimo do tráfego previsto no seu ano de abertura, sendo subdividida nas classes IV-A e IV-B. A Classe IV-A tem sua adoção recomendada para os casos em que o Volume Médio Diário, na data de abertura da rodovia ao tráfego, situa-se entre 50 a 200 veículos. A Classe IV-B é reservada aos casos em que o Volume Médio Diário seja inferior a 50 veículos.

A Tabela 2 apresenta as classes de projeto e as velocidades diretrizes recomendadas para o projeto de novas rodovias, para as diferentes condições de relevo da região atravessada.

Tabela 2 - Velocidade diretriz em função da classe de projeto e relevo em rodovias rurais

Classe de Projeto	Velocidade Diretriz (km/h)		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	120	100	80

Classe de Projeto	Velocidade Diretriz (km/h)		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe I	100	80	60
Classe II	100	70	50
Classe III	80	60	40
Classe IV	60	40	30

Fonte: DNER (1999)

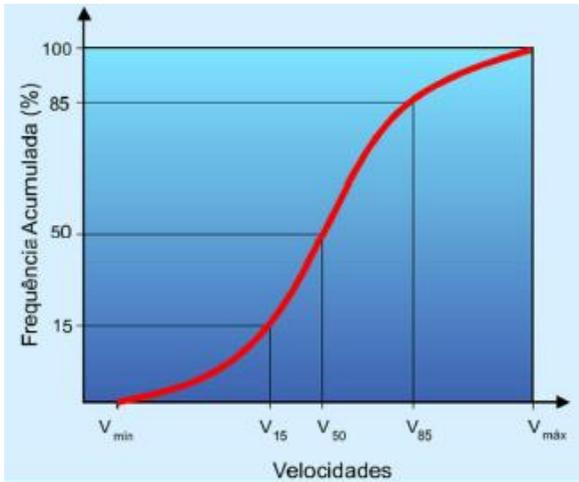
Uma vez estabelecida a classe de projeto e definida a velocidade diretriz, em função do relevo da região por onde passa a rodovia, esta velocidade passa a condicionar, direta ou indiretamente, a fixação dos limites a serem observados pelas demais características técnicas com as quais a rodovia será geometricamente projetada (Lee, 2002).

A velocidade, sob a forma de velocidade diretriz é o elemento determinante das características do projeto, não fazendo sentido a ideia de aumentar a velocidade através de legislação, conforme a interpretação de muitos a respeito do novo limite de velocidade proposto no Código de Trânsito Brasileiro (CTB) de 1998, aumentando o limite máximo nacional de 80 km/h para 110 km/h. É claro que na prática isto pode ser feito, mas as vias que foram projetadas com velocidade diretriz menor do que 110 km/h devem sofrer correções de geometria e sinalização, sob pena de terem seus níveis de segurança deteriorados.

2.2.1.7 Velocidade operacional ou V85

A velocidade operacional é geralmente representada pelo 85° percentil da velocidade dos veículos, que corresponde à velocidade não ultrapassada por 85% dos usuários da via. O 85° percentil ou V85 pode ser obtido a partir da análise estatística dos dados de velocidade. A Figura 12 apresenta a curva de distribuição de frequência acumulada das velocidades, onde o percentil 85 é adotado como velocidade operacional (DER/SP, 2006; AASHTO, 2011).

Figura 12 - Curva de distribuição de frequência acumulada de velocidades



Fonte: Trentim (2007)

A velocidade operacional e também definida pela FHWA (2000) como sendo a velocidade geral máxima na qual é possível trafegar em determinada rodovia em condições climáticas favoráveis e sob condições de tráfego que não excedam a velocidade de segurança.

De acordo com Cardoso (2006), a definição de uma velocidade limite baseada na V_{85} é desejável porque:

- Possibilita que a fiscalização seja focada nos condutores que impõem maior risco;
- Geralmente o índice de acidentes ocorridos com veículos trafegando abaixo da V_{85} é pequeno.

Segundo o DER/SP (2006), em um trecho viário já existente, a velocidade operacional pode ser determinada através de medições realizadas em campo. Nos casos em que um projeto ainda não está implantado, a determinação da velocidade operacional pode ser analisada a partir de modelos de previsão de velocidades.

2.2.1.8 *Velocidade regulamentada*

Segundo Garcia (2002), a velocidade regulamentada, também denominada de limite de velocidade, é a velocidade permitida para uma

determinada rodovia ou trecho desta. Na prática, verifica-se que a fixação de limites próximos à velocidade operacional da via são bem aceitos pelos usuários, enquanto que limites excessivamente baixos são muitas vezes ignorados pelos mesmos.

No Brasil, a velocidade tem seus parâmetros regulamentados pelos artigos 61 e 62 do Código de Transito Brasileiro, aprovado pela Lei Federal nº 11.334/2006. O CTB estabelece que onde não existir sinalização regulamentadora, a velocidade máxima seguir a 0.

Tabela 3 - Velocidade regulamentada no Brasil

Velocidade Regulamentada		
Vias Urbanas	80 km/h	Vias de trânsito rápido
	60 km/h	Vias arteriais
	40 km/h	Vias coletoras
	30 km/h	Vias locais
Vias Rurais	110 km/h (automóveis, camionetas e motocicletas)	Rodovias
	90 km/h (ônibus e micro-ônibus)	
	80 km/h (demais veículos)	
	60 km/h	Estradas

Fonte: CTB (1997)

O TRB (1998) cita três fatores fundamentais para a necessidade de uma velocidade limite regulamentada:

- O risco significativo que apenas um condutor pode impor, embora a grande maioria conduza na velocidade adequada;
- Sempre existem alguns condutores que não conhecem bem a via, a

ponto de poderem julgar a velocidade apropriada;

- Alguns condutores subestimam o efeito de um acidente a alta velocidade.

Segundo o Relatório Anual de Segurança Viária publicado pela IRTAD – *International Traffic Safety Data and Analysis Group* (OECD, 2013), os limites de velocidades para carros de passeio estabelecidos pelos países que compõe a IRTAD variam conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Limites de velocidade para veículos de passeio nos países integrantes da IRTAD

País	Limites de Velocidade (km/h)		
	Trechos Urbanos	Trechos Rurais	Autoestradas/ <i>freeway</i>
Alemanha	50 km/h	100 km/h	Sem limites (recomendado 130 km/h)
África do Sul	60 km/h	100 km/h	120 km/h
Argentina	30 - 60 km/h	110 km/h	130 km/h
Austrália	50 km/h 60 a 80 km/h (vias arteriais)	100 ou 110 km/h	110 km/h
Áustria	50 km/h	100 km/h	130 km/h
Bélgica	30 ou 50 km/h	70 ou 90 km/h	120 km/h
Camboja	40 km/h	90 km/h	-
Canada	40 - 70 km/h	80 - 90 km/h	100 - 110 km/h
Colômbia	80 km/h 30 km/h em áreas escolares	120 km/h	-

Continuação Tabela 4

País	Limites de Velocidade (km/h)		
	Trechos Urbanos	Trechos Rurais	Autoestradas/ <i>freeway</i>
Coréia	60 km/h	60 - 80	110 km/h (100 km/h em áreas urbanas)
Dinamarca	50 km/h	80 km/h	110 ou 130
Eslovênia	50 km/h	90 km/h	130 km/h
Espanha	50 km/h	90 ou 100 km/h	120 km/h
Estados Unidos	35 - 65 mph (56 - 104km/h) (varia em cada estado)	50 - 65 mph (80 - 104 km/h) (varia em cada estado)	55 - 8m mph (88 - 129 km/h) (varia em cada estado)
Finlândia	50 km/h	80 km/h	120 km/h (verão)
França	50 km/h	90 km/h	130 km/h
Grécia	50 km/h	90 km/h	130 km/h
Holanda	50 km/h	80 km/h	130 km/h (era 120 km/h até o ano 2012)
Hungria	50 km/h	90 km/h	130 km/h
Islândia	50 km/h	90 km/h (estradas pavimentadas)	-
Irlanda	50 km/h	80 ou 100 km/h	-
Israel	50 km/h	80, 90 ou 100	110
Itália	50 km/h	90 - 110 km/h	130 km/h
Jamaica	50 km/h	50 km/h	70 ou 110
Japão	40, 50, 60	50, 60	100 km/h

Continuação Tabela 4

País	Limites de Velocidade (km/h)		
	Trechos Urbanos	Trechos Rurais	Autoestradas/ <i>freeway</i>
Lituânia	50 km/h	90 km/h (70 km/h em rodovias não pavimentadas)	130 km/h (110 km/h no inverno)
Luxemburgo	50 km/h	90 km/h	130 km/h
Malásia	50 km/h	90 km/h	110 km/h
Nova Zelândia	50 km/h	100 km/h	100 km/h
Noruega	50 km/h	80 km/h	100 km/h
Polônia	50 km/h	90 - 120 km/h	140 km/h
Portugal	50 km/h	90 km/h	120 km/h
Reino Unido	30 mph (48 km/h)	60 mph (96 km/h)	70 mph (113 km/h)
República	50 km/h	90 km/h	130 km/h
Sérvia	50 km/h	80 km/h	120 km/h
Suécia	50 km/h	70 ou 90 km/h	110 km/h
Suíça	50 km/h	80 km/h	120 km/h

Fonte: Adaptado de OECD (2013)

De acordo com a O, os limites de velocidade são estabelecidos entre áreas urbanas, rodovias rurais e *freeways*. Nos países integrantes da IRTAD, os limites de velocidade em rodovias rurais variam de 50 km/h, na Jamaica, a 120 km/h, na Colômbia e Polônia, por exemplo. Nas rodovias tipo *freeway*, onde há controle total de acessos à rodovia, estes limites chegam a 130 km/h na Argentina, França, Alemanha, Itália, entre outros países.

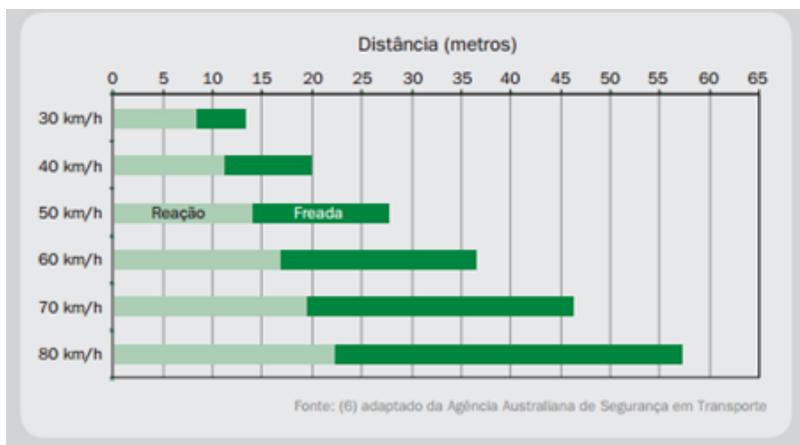
2.2.2 Influência da velocidade na ocorrência de acidentes

Segundo a publicação “Gestão de Velocidade: um manual de segurança viária para gestores e profissionais da área” (WHO, 2012), a

velocidade tem sido identificada como um fator-chave de risco para as lesões causadas pelo trânsito, tendo influência tanto no risco de colisões quanto na gravidade das lesões que delas resultam.

Velocidades elevadas levam a um maior risco de colisão e uma maior probabilidade de lesões graves. Isto porque, conforme a velocidade aumenta, o mesmo acontece com a distância percorrida durante o tempo de reação do condutor e a distância necessária para parar, como mostra a Figura 13. Além disso, em alta velocidade, os efeitos dos erros dos condutores são ampliados. Em uma colisão, quanto maior a velocidade, maior a quantidade de energia mecânica (cinética) que deve ser absorvida pelo impacto. Com isso, há uma maior a probabilidade de lesões graves.

Figura 13 - Ilustração da distância de parada numa freada de emergência



Fonte: WHO (2012)

A energia cinética deve ser dissipada na forma de calor pelo sistema de frenagem, que perde a eficiência à medida que aumenta a velocidade. Isto se dá devido a limitações de ordem física dos componentes dos sistemas, tais como pastilhas, lonas, discos, fluido, pneus e, principalmente, devido ao elemento humano através do condutor (Vieira, 1999).

Ainda que os elementos tecnológicos veiculares estejam em constante avanço, podendo incrementar, por exemplo, a eficiência do sistema de frenagem, o mesmo não pode ser dito em relação ao condutor que, em termos reais, não pode diminuir seu tempo de percepção e reação.

De acordo com *Howard University Transportation Research Center – HUTRC* (2011), há uma relação indireta entre a velocidade e acidentes, já que muitos outros fatores, tais como o projeto da estrada, condições de tráfego, condições ambientais e comportamento dos motoristas podem resultar diretamente em um acidente. As consequências do excesso de velocidade incluem (FHWA, 2012):

- Maior percentual para a perda de controle do veículo, o que pode causar um acidente;
- Redução da eficácia dos equipamentos de proteção dos ocupantes dos veículos;
- Aumento da distância de parada depois que o motorista percebe o perigo;
- Aumento do grau de severidade dos acidentes, levando a mais mortes e lesões incapacitantes;
- Implicações econômicas e até mesmo psicológicas imensuráveis;
- Aumento do consumo de combustível e custos relacionados.

A inerente falta de informação prévia sobre um acidente e as eventuais imprecisões no relato policial, acrescenta às dificuldades no estabelecimento de velocidade como a única causa de acidentes.

Um estudo realizado na Arábia Saudita apontou a velocidade como o principal fator contribuinte para a ocorrência de acidentes, contribuindo em 40% do total de acidentes ocorridos de acordo com a análise de boletins de ocorrência, sendo que a maioria destes acidentes envolveu pedestres (TRB, 2006).

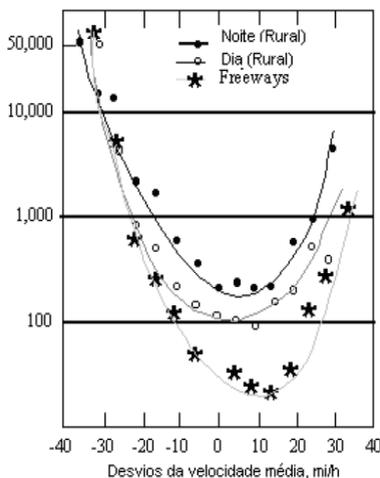
De acordo com EKSLEK et al (2009), respeitar os limites de velocidade traria benefícios significativos em relação à gravidade dos acidentes. Os autores citam que na Suécia, cerca de 34% das mortes na estrada poderiam ser evitadas se todos os motoristas estivessem dentro dos limites de velocidade. Porém, o nível e os efeitos da velocidade também dependem do projeto geométrico da rodovia, que também influencia no limite de velocidade adequado.

Segundo Bocanegra (2006), a velocidade veicular excessiva aumenta a frequência e gravidade dos acidentes em função da redução do tempo disponível para reação do motorista, aumentando assim a distância percorrida para executar uma manobra adequada ou até mesmo parar o veículo.

A experiência no controle da velocidade resulta, por consequência, numa redução imediata da quantidade e gravidade dos acidentes, além de se traduzir em ganhos de mobilidade, pois a maior uniformidade na velocidade diminui a necessidade de ultrapassagens e evita veículos demasiado próximos entre si, proporcionando que um fluxo maior de veículos cruze um local específico de uma rodovia durante um certo tempo e aumentando, desse modo, a capacidade da via.

Outro fator que é muitas vezes considerado na questão da velocidade e segurança é a variação na velocidade. Variação de velocidade é definida como um desvio de velocidade de veículos a partir da velocidade média de fluxo livre. Ogden (1996) cita vários autores que relaram a chance de envolvimento em acidentes, seguindo uma distribuição assimétrica tipo U, conforme mostra a Figura 14, a qual indica que há uma redução de acidentes quando o veículo se encontra em torno da velocidade média ou ligeiramente acima.

Figura 14 - Relação entre velocidade e acidentes



Fonte: TRB (1998) apud Basso (2008)

De acordo com HUTRC (2011) e Ogden (1996), a probabilidade de ocorrer acidentes aumenta quando os veículos se encontram em velocidades significativamente muito altas ou muito menores do que a velocidade média de fluxo livre.

A velocidade dos veículos é um elemento crítico para a compreensão da segurança de uma rodovia e o fornecimento de um sistema seguro aos usuários. Algumas questões a serem consideradas para análise da velocidade incluem:

- Reduções nos limites de velocidade só vão levar a pequenas reduções nas velocidades de viagem. Estratégias para fiscalização da velocidade são fundamentais;
- Em todo o mundo, para evitar mortes nas rodovias ou lesões graves, um sistema de tráfego melhor adaptado às vulnerabilidades físicas de seus usuários precisa ser criado - com o uso de mais veículos seguros e dispositivos de segurança nas estradas;
- A abordagem de sistemas de segurança, como exemplificado pelos programas Visão Zero (Suécia), Sustainable Safety (Holanda) e Safe System (Austrália) devem definir o quadro para a gestão de velocidades a longo prazo em estradas de uma nação.

Solomon (1964)¹ apud Basso (2008), após analisar a relação entre velocidade e a gravidade dos acidentes em 10.000 colisões, concluiu que a gravidade dos acidentes cresce rapidamente em velocidades acima de 96 km/h, sendo que a probabilidade da ocorrência de acidentes fatais cresce fortemente acima de 112 km/h.

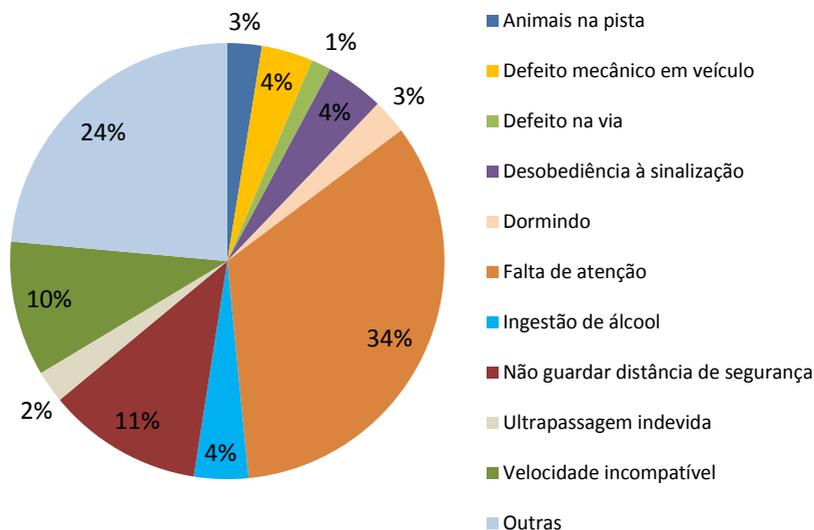
A velocidade acima do limite máximo estabelecido é o maior problema de segurança no trânsito em muitos países. Apesar da identificação dos fatores que contribuem para as colisões no trânsito ser um tanto subjetivo, existem pesquisas e estudos sugerindo que até um terço das colisões que resultam em morte envolvem o excesso de velocidade. Dessa forma, velocidade é um fator agravante em todas as colisões.

Em 2013 foram registrados 186.448 acidentes nas rodovias federais, de acordo com dados da Polícia Rodoviária Federal – PRF (PRF, 2014). Desse total, de acordo com a visão dos policiais que registraram as ocorrências nos boletins de acidente de trânsito, 34% dos acidentes ocorreram devido à falta de atenção dos motoristas, 24% dos acidentes não tiveram as causas relatadas, 11% ocorreram em função da ausência

¹ SOLOMON, D. *Crashes on main rural highways related to speed, driver and vehicle. Federal Highway Administration, DC. 1964.*

de distância de segurança e 10% dos acidentes ocorreram em função da adoção de uma velocidade incompatível com a via, como mostra a Figura 15.

Figura 15 - Causas dos acidentes ocorridos em rodovias federais em 2013

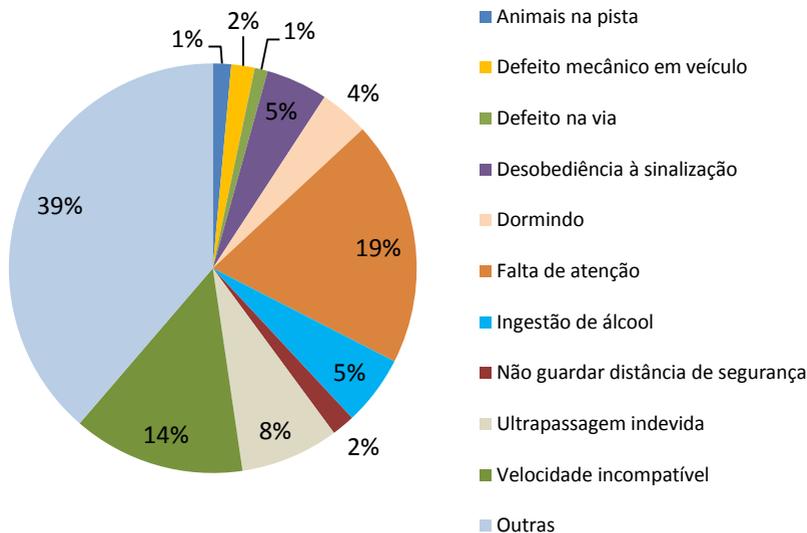


Fonte: Adaptado de PRF (2013)

O conceito adotado nesta tese define que a expressão “excesso de velocidade” engloba “velocidade excessiva” (dirigir acima do limite legal estabelecido, ou seja, acima da velocidade regulamentada) e “velocidade inadequada ou incompatível” (dirigir rápido demais para as condições da via, mas dentro dos limites) (WHO, 2012)

Ainda de acordo com dados da PRF em relação às causas dos acidentes com vítimas fatais, segundo a visão dos policiais, 39% dos acidentes ocorridos foram registrados como sendo causas não mencionadas, 19% como falta de atenção do motorista, 14% como velocidade incompatível, 8% dos acidentes tiveram suas causas relatadas como ultrapassagem indevida e 5% como desobediência à sinalização, como mostra a Figura 16.

Figura 16 - Causas dos acidentes com vítimas fatais ocorridos em rodovias federais em 2013



Fonte: Adaptado de PRF (2013)

Através da análise das Figuras 16 e 17, nota-se que a velocidade incompatível tem grande contribuição no total de acidentes ocorridos. O excesso de velocidade exige uma maior atenção dos motoristas, sendo esta uma das causas de acidentes mais frequentes. A reação do condutor, que deve sempre ter como objetivo o controle efetivo do veículo, fica prejudicada, pois dificilmente ele terá condições de se inteirar de todas as variáveis que irão interferir na maior ou menor distância de parada.

2.2.3 Influência da velocidade na gravidade de acidentes

Apesar da complexidade de estabelecer o papel da velocidade em acidentes de trânsito, bem como na gravidade dos mesmos, pesquisas têm indicado, consistentemente, que a velocidade é muitas vezes um fator contribuinte. De fato, estudos científicos têm mostrado que em aproximadamente um terço de todos os acidentes fatais, a velocidade tem desempenhado um papel decisivo (FHWA, 2012; OECD, 2013).

A Organização Mundial de Saúde – OMS, revela que nos países desenvolvidos, a velocidade contribui, aproximadamente com 30% das mortes nas estradas, ao passo que, nos países em desenvolvimento, a

velocidade é o fator principal em 50% dos acidentes de trânsito (WHO, 2004).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2009), os ferimentos causados por acidentes de trânsito são um importante problema de saúde pública em níveis globais, regionais e nacionais, onde muito ainda precisa ser feito para interromper ou reverter a tendência crescente de mortes no trânsito.

De acordo com o “Relatório mundial sobre prevenção de lesões causadas pelo trânsito” (WHO, 2012), mais da metade de todas as mortes globais no trânsito ocorrem em jovens entre 15 e 44 anos de idade, sendo que 73% das vítimas fatais são do sexo masculino.

Ainda segundo WHO (2012), projeções indicam que as lesões causadas pelo trânsito devem subir do décimo lugar, que ocupava em 2002, para o oitavo lugar até 2030 como um fator contribuinte para a carga global de doenças, como mostra a Tabela 5. Tais projeções indicam que se nenhuma medida for adotada, as mortes no trânsito devem aumentar em 83% nos países de baixa e média renda, e reduzir em 27% nos países de alta renda. Desta forma, é previsto um aumento global de 67% até 2020 se nenhuma ação for tomada.

Tabela 5 - Principais causas de mortes no mundo

2002		2030	
Ranking	Descrição da doença ou lesão	Ranking	Descrição da doença ou lesão
1	Doença cardíaca isquêmica	1	Doença cardíaca isquêmica
2	Doença cerebrovascular	2	Doença cerebrovascular
3	Infecções das vias respiratórias inferiores	3	HIV / AIDS

Continuação Tabela 5

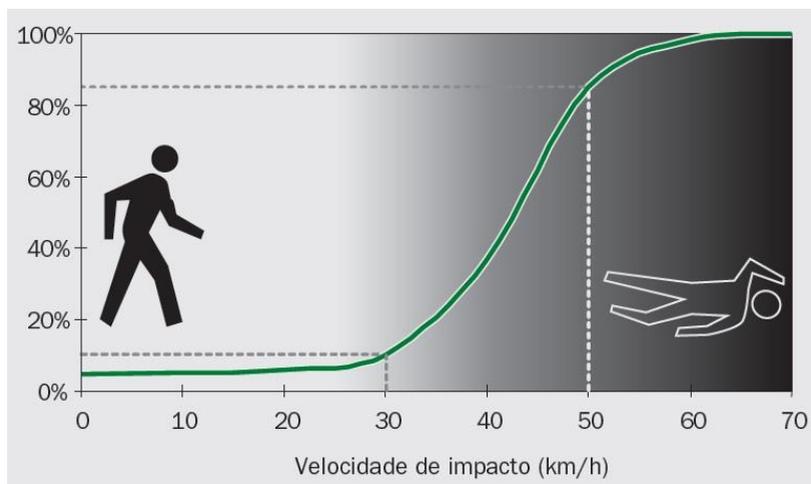
2002		2030	
Ranking	Descrição da doença ou lesão	Ranking	Descrição da doença ou lesão

4	HIV / AIDS	4	Doença pulmonar obstrutiva crônica
5	Doença pulmonar obstrutiva crônica	5	Infecções das vias respiratórias inferiores
6	Condições perinatais	6	Diabetes mellitus
7	Doenças diarreicas	7	Câncer de traqueia, brônquios e pulmão
8	Tuberculose	8	<i>Lesões causadas pelo trânsito</i>
9	Câncer de traqueia, brônquios e pulmão	9	Tuberculose
10	<i>Lesões causadas pelo trânsito</i>	10	Condições perinatais

Fonte: Adaptado de WHO (2011)

Os usuários mais vulneráveis das rodovias, ou seja, pedestres, ciclistas e motociclistas têm um risco elevado de lesão grave ou fatal quando veículos colidem com os mesmos. A probabilidade de um pedestre ser morto se atingido por um veículo aumenta drasticamente com a velocidade. A Figura 17 mostra a probabilidade de um acidente ser fatal para um pedestre caso seja atropelado, de acordo com a variação da velocidade. A pesquisa indica que os pedestres têm cerca de 10% de chances sobreviver caso o veículo que o atingir esteja a 30 km/h, enquanto que a maioria dos pedestres são mortos se um carro colidir a 50 km/h (OECD, 2006).

Figura 17 - Probabilidade de lesão fatal para um pedestre em um atropelamento



Fonte: WHO (2012)

De acordo com Sanchez (2001), quando se analisa o efeito da velocidade na segurança de tráfego, deve-se relacionar, principalmente, o tempo de percepção, o campo visual, as condições da pista e as consequências dos impactos.

Segundo o *UK Department of Transportation*, quando um pedestre é atingido ele corre risco de morte de acordo com a estatística apresentada, ou seja, para uma velocidade de 40 mph (64 km/h) o risco é de 85%, para 30 mph (48 km/h) o risco é de 45% e para 20 mph (32 km/h) o risco é de 15%. De acordo com *Oregon Department of Transportation* (ODOT, 1999), o foco dos motoristas varia de acordo com as velocidades praticadas nas vias como observa-se na Figura 18.

A Figura 18 mostra que o foco dos motoristas fica reduzido à medida que a velocidade aumenta. Uma velocidade mais baixa permite que os motoristas estejam mais atentos às situações ao seu entorno, conforme mostra a foto 4. A foto 1 apresenta o foco dos motoristas a 40 mph (65 km/h). Nota-se que o foco permanece à frente da rodovia, impossibilitando constatação da presença de pedestres e ciclistas no trecho, aumentando o risco de morte desses usuários da rodovia.

Figura 18 - Foco dos motoristas de acordo com a velocidade praticada



40mph = 65 km/h
Foto 1



30mph = 48 km/h
Foto 2



20 mph = 32 km/h
Foto 3

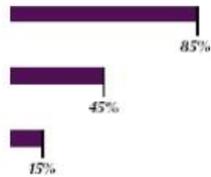


15 mph = 24 km/h
Foto 4

40mph = 65 km/h

30mph = 48 km/h

20 mph = 32 km/h



2.2.4 Diferenças de velocidades entre trechos sucessivos e a segurança viária

A velocidade operacional de uma rodovia é influenciada por diversos fatores: motorista, rodovia, condições das margens da rodovia, características dos veículos e condições atmosféricas e do tráfego. O alinhamento horizontal é sem dúvida o fator mais importante (DNIT, 2010c).

As variações da velocidade ao longo da rodovia têm um impacto direto na segurança. Quanto maior e mais inesperada a variação, maior é a probabilidade de colisão. As rodovias de padrão elevado devem ser projetadas de modo a permitir que os usuários trafeguem com segurança, com uma velocidade relativamente constante, que atenda às suas necessidades e expectativas. Caso contrário, há probabilidade de que ocorram erros.

No início da década de 1970, pesquisadores alemães desenvolveram regras para ajudar os projetistas a escolher sequências de alinhamentos que reduziriam as variações das velocidades de operação ao longo de uma rota. Este método, já apresentado no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999), é considerado uma grande melhoria dos métodos tradicionais, que simplesmente verificavam a obediência aos raios mínimos fixados.

As regras a obedecer podem ser expressas em termos de diferenças de velocidades. Lamm et al (1999) recomenda a verificação da qualidade do projeto, comparando as velocidades respeitadas por 85% dos carros de passeio (V85) para cada par de segmentos sucessivos da rodovia. A Tabela 6 apresenta a qualidade dos projetos em função da variação da velocidade operacional.

Tabela 6 - Qualidade de projeto em função da variação da velocidade

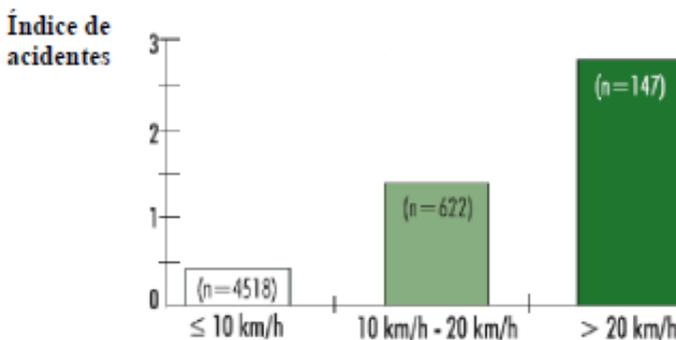
Diferença de velocidade ΔV_{85} (km/h)	Qualidade do projeto
< 10	Bom
10 – 20	Aceitável
> 20	Inferior

Fonte: Adaptado de Lamm et al (1999)

De acordo com a Tabela 6, se as diferenças de velocidades forem menores que 10 km/h, o projeto é considerado bom; entre 10 km/h e 20 km/h, aceitável; acima de 20 km/h o projeto é considerado inferior.

Anderson et al (1999) analisaram o impacto da diferença das velocidades V85 de trechos sucessivos no número de acidentes. O estudo foi feito com base em dados coletados em 5.287 curvas, obtendo os resultados apresentados na Figura 19.

Figura 19 - Índices de acidentes e diferenças entre velocidades V85 (n=número de curvas)



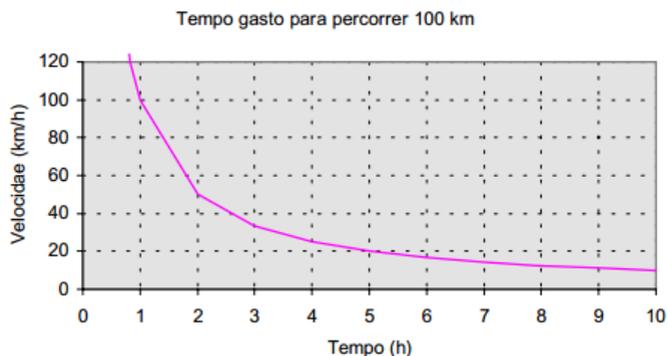
Fonte: Adaptado de Anderson et al (1999)

- Se a diferença de velocidades V85 é superior a 20 km/h, o índice de acidentes é o dobro do índice correspondente a uma diferença situada entre 10 e 20 km/h;
- Se a diferença de velocidades V85 é superior a 20 km/h, o índice de acidentes é seis vezes maior que o índice correspondente a uma diferença menor que 10 km/h.

2.2.5 O controle da velocidade e o valor do tempo

Um dos problemas fundamentais do controle de velocidade é o “valor do tempo” ou sua manifestação através da pressão que argumenta que os veículos evoluíram muito, tornando-se mais seguros (Vieira, 1999). Por outro lado, a sensação de perda de tempo e de dinheiro é muito subjetiva, e, muitas vezes o ganho de tempo torna-se insignificante em relação ao aumento no risco. No gráfico apresentado na Figura 20, mostra o tempo gasto para percorrer 100 km em função da velocidade.

Figura 20 - Tempo gasto para percorrer 100 km em função da velocidade



Fonte: Vieira (1999)

Para esta distância de 100 km, o ganho de tempo com o aumento da velocidade média, por exemplo, de 100 para 120 km/h, chega a ser insignificante se comparado com o aumento dos riscos.

Na Alemanha foi realizada uma experiência com dois motoristas, na qual ambos percorreram o mesmo trajeto de 1609 km. O primeiro foi orientado a chegar ao final do trajeto o mais rápido possível. Já o segundo motorista teve a orientação de seguir o fluxo da maneira mais segura possível (Lima, 1998). Os resultados dessa pesquisa estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados da experiência de acordo com o perfil do motorista

Perfil do motorista	Tempo de viagem (horas e minutos)	Ultrapassou	Foi ultrapassado	Utilizou freios
Rápido	20:12	2004 vezes	13 vezes	1339 vezes
Prudente	20:43	640 vezes	142 vezes	652 vezes

Fonte: Vieira (1999)

O motorista que buscou a rapidez sofreu um risco cerca de três vezes maior para obter uma vantagem em tempo de apenas 2,6 %. Considerando-se ainda o consumo de combustível, desgaste mecânico do

veículo e o stress a que se submeteu o condutor mais audacioso, percebe-se facilmente a fragilidade dos argumentos em favor da pressa ao dirigir.

2.3 PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIA E SEGURANÇA VIÁRIA

Embora o objetivo deste item não seja aprofundar nas características do projeto de rodovias, serão abordados alguns tópicos relevantes ao planejamento e projeto geométrico de rodovias devido à sua relação com a capacidade de fluxo, nível de serviço e, portanto, com a segurança. O nível de segurança oferecido aos usuários de uma rodovia está diretamente associado ao seu projeto e, principalmente, à compatibilidade entre o projeto executado e as condições em que a rodovia está operando.

Apesar diversos estudos indicarem o fator humano como sendo o principal fator para a ocorrência de acidentes, nem sempre a atuação sobre o fator de maior peso oferece a melhor relação custo-benefício (Nodari e Lindau, 2004). É o caso do fator via, no qual atuações sobre este fator com enfoque na melhoria das condições de segurança dos seus usuários permitem uma diminuição mais rápida do número e da gravidade dos acidentes de trânsito.

De acordo com Nodari (2003), as características geométricas de uma rodovia afetam suas condições de segurança de diferentes maneiras, influenciando:

- A habilidade do motorista em manter o controle do veículo e identificar situações e características perigosas;
- A existência de oportunidades de conflitos, tanto em relação à quantidade quanto ao tipo;
- As consequências de uma saída de pista de um veículo desgovernado;
- O comportamento e a atenção dos motoristas.
- As condições da via interagem e provocam um maior número de acidentes entre motoristas e pedestres pouco experientes, mas em determinadas ocasiões também induzem condutores habilidosos e pedestres cautelosos a cometer erros ao enfrentar exigências inesperadas. Assim, torna-se importante o entendimento da relação entre as características da infraestrutura viária e a ocorrência de acidentes (Tamayo, 2010).

Além de ser a principal determinante de todos os elementos do projeto geométrico das estradas (distância de visibilidade, de frenagem, de ultrapassagem, comprimento de rampas, acessos e outros), a velocidade apresenta uma relação física e psicossocial com o condutor, único elemento interno ao sistema de trânsito tomando decisões (Viera, 1999).

As melhores práticas para a realização do projeto geométrico rodoviário vêm sendo consolidadas através de normas técnicas no mundo todo. Um bom projeto deve oferecer características geométricas compatíveis com a expectativa de segurança e conforto dos condutores de veículos. Aspectos relacionados ao veículo (dimensões, potência e capacidade de frenagem), a morfologia do relevo (plano, ondulado ou montanhoso) e à classe da rodovia são utilizados como elementos definidores da velocidade de projeto.

Diversas análises de acidentes viários mostram que as falhas dos motoristas são o principal fator contribuinte na ocorrência de acidentes. O manual “*A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*” (AASHTO, 2011) afirma que:

- O número de acidentes aumenta com o aumento do número de decisões exigidas do motorista, fruto das características do projeto;
- O fator de projeto mais importante para a promoção da segurança viária é o controle de acesso; estudos recentes mostram a relação em número de acidentes e número de pontos de acesso às rodovias;
- A velocidade é frequentemente um fator contribuinte dos acidentes, mas seu papel deve ser considerado no contexto das condições gerais do local do acidente; os acidentes estão mais diretamente relacionados com a variabilidade da velocidade (intervalo entre a maior e a menor velocidade) do que com a velocidade propriamente dita.

A qualidade de uma rodovia é representada através do conceito de nível de serviço (NS). Este classifica a qualidade de fluxo atribuindo letras, que variam de A (situação ideal) até F (pior situação). O conceito Nível de Serviço utiliza medidas qualitativas que caracterizam as condições operacionais numa corrente de tráfego e sua percepção pelos condutores, condições estas caracterizadas por velocidade e tempo de viagem, liberdade de manobra, interrupções de tráfego, conforto e conveniência (HCM, 1994).

Os fatores que normalmente definem a capacidade e nível de serviço de uma rodovia estão intrinsecamente relacionados à segurança oferecida, através de concepções tais como:

- Classe de rodovia;
- Largura das faixas;
- Largura dos acostamentos e desobstruções laterais;
- Velocidade de projeto;
- Alinhamentos verticais e horizontais;
- Disponibilidade de faixas de aceleração e desaceleração para veículos junto às interseções.

De acordo com DNIT (2010c), os critérios mínimos de projeto podem não assegurar níveis de segurança adequados em todas as situações. Quando são considerados simultaneamente, podem não atender às necessidades potenciais da rodovia. Por exemplo, em uma interconexão, uma faixa de desaceleração de comprimento mínimo combinada com um ramo de saída em laço (loop), de raio mínimo, pode causar problemas operacionais e de segurança, principalmente para grandes caminhões.

Nos itens a seguir será enfatizada a velocidade em função da sua relação direta com os elementos de projeto. Isto porque ela influi decisivamente na concepção do projeto geométrico, na sua capacidade e no nível de serviço oferecido, e, portanto, na sua segurança.

2.3.1 Concordância horizontal e raio de curvatura

De acordo com DNIT (2010c), o alinhamento horizontal de uma rodovia compreende trechos em tangente, curvas circulares (com raio constante) e curvas em espiral, com raio variando continuamente, para permitir transferência gradual entre segmentos da rodovia com diferentes raios.

Na concordância horizontal, as sequências de trechos em tangente são interligadas através de curvas, cujos raios mínimos são estabelecidos a partir do conhecimento da velocidade diretriz. A velocidade, o raio e a superelevação são ajustados de forma a atender ao equilíbrio de forças na trajetória dos veículos.

Quando um veículo entra numa curva, ele começa a mudar sua trajetória, e, neste momento, começa a agir uma força inercial (força

centrífuga, F_c), que tende a empurrar o veículo para fora da curva (Equação 1). Esta força é diretamente proporcional à massa (m) do veículo, ao quadrado da velocidade (v^2), e inversamente proporcional ao raio da curva (R). Portanto, quanto maior a velocidade diretriz aplicada ao projeto maior deve ser o raio, aumentando a necessidade de espaço e consequentemente maiores os custos de execução do projeto.

$$F_c = \frac{m \cdot v^2}{R} \quad (1)$$

Onde:

F_c : força centrífuga

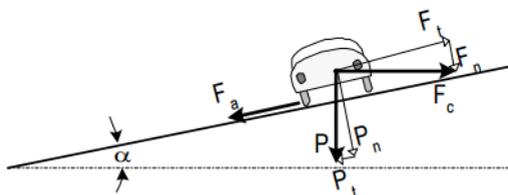
m : massa (kg)

v : velocidade

R : raio da curva (m)

A força centrífuga, F_c , definida na equação acima, deve ser equilibrada, conforme mostra o esquema da Figura 21, a fim de que o veículo o condutor do veículo não perca o seu controle. Ela é compensada, pela componente do peso do veículo, F_t .

Figura 21 - Equilíbrio de forças num veículo de peso P em uma curva de raio R e superelevação com ângulo α



Fonte: Lee (2002)

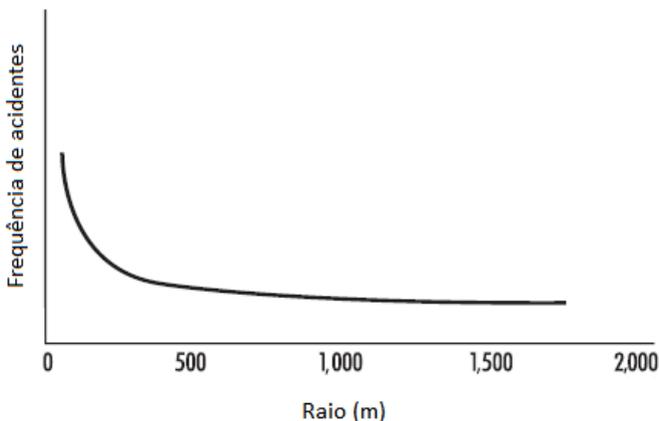
Um recurso ao equilíbrio de forças é a adoção de superelevação nas curvas, elevando gradualmente o bordo externo da estrada, de modo que a altura máxima, representada na Figura 21 pelo ângulo α , seja atingida na metade da trajetória curva. Quanto maior a superelevação, maior a velocidade que pode ser desenvolvida na curva, pois parte da força centrífuga passa a ser compensada por uma componente do próprio peso do veículo. A superelevação ou a sua altura máxima é limitada pelo risco de tombamento dos veículos pesados de carga, e pela estética e

desconforto experimentado pelos veículos que circulam nas velocidades mínimas permitidas.

Segundo DNIT (2010c), quanto maior for a redução de velocidade requerida pela curva, maior a probabilidade de erro e acidente (por aproximação excessiva de outro veículo, derrapagem, saída da rodovia, etc). O risco é ainda maior quando a redução de velocidade é inesperada ou pouco comum (curva isolada com raio pequeno).

Em rodovias rurais, a frequência de acidentes geralmente aumenta quando os raios das curvas diminuem. A Figura 22 mostra uma relação comumente encontrada entre a frequência de acidentes e o raio da curva. Verifica-se que o aumento de acidentes é significativo quando o raio da curva é menor que 400 m.

Figura 22 - Frequência de acidentes e raios das curvas



Fonte: DNIT (2010c)

A frequência de acidentes na curva é influenciada por suas características (raio, ângulo de deflexão, atrito, superelevação) e pelas características do alinhamento antes da mesma (comprimento da tangente anterior à curva e curvatura média) (DNIT, 2010c).

2.3.2 Concordância vertical e distâncias de visibilidade

A concordância vertical, caracterizada pelo traçado do eixo longitudinal da estrada, trata da transição entre trechos em rampa. Neste caso, o enfoque da segurança viária está orientada para a questão da

distância de visibilidade, estritamente relacionada à velocidade através da energia cinética a ser anulada para parar o veículo (Vieira, 1999).

Um dos principais requisitos para a segurança e a eficiência operacional de uma rodovia é a distância de visibilidade disponível relacionada à velocidade praticada. Por meio da distância de visibilidade, o motorista tem condições de captar as informações sobre a via, interpretá-las e tomar decisões a tempo e com segurança (Pellegrini, 2006).

Os padrões de visibilidade dependem diretamente das características geométricas da rodovia, das condições da superfície de rolamento, das condições do tempo (chuva ou sol), do comportamento dos motoristas, e das características representativas de condições desfavoráveis dos veículos (freios, suspensão etc.) (DNIT, 2010b).

Um traçado em curva horizontal pode limitar a distância de visibilidade em função da existência de obstáculos laterais situados às margens da rodovia, tais como edificações, vegetações, rampas de corte, etc. (LEE, 2005).

No projeto geométrico de rodovias são consideradas três distâncias de visibilidade:

- Distância de visibilidade de parada;
- Distância de visibilidade para tomada de decisão;
- Distância de visibilidade de ultrapassagem.

A distância de visibilidade de parada é a distância mínima que um motorista, trafegando com a velocidade diretriz, necessita para parar com segurança após avistar um obstáculo na rodovia. Em outras palavras, é a distância que um veículo percorre, desde a percepção de um obstáculo, pelo motorista, até a parada total do veículo. A distância de visibilidade de parada é a base para determinação dos comprimentos das curvas verticais de concordância e das distâncias mínimas livres de obstáculos laterais nas curvas horizontais (DNIT, 2010b).

Distância de visibilidade para tomada de decisão é a distância necessária para que um motorista tome consciência de uma situação potencialmente perigosa, inesperada ou difícil de perceber, avalie o problema encontrado, selecione um caminho adequado e a velocidade necessária, e execute a manobra de forma eficiente e segura (DNIT, 2010b).

A distância de visibilidade de ultrapassagem é, segundo Lee (2005, p. 233), “a distância livre à sua frente que um motorista, desejando ultrapassar um veículo mais lento, necessita para tomar a decisão de efetuar a manobra de ultrapassagem e completar tal manobra com segurança, retornando normalmente à sua faixa de trânsito a uma distância segura de um veículo que, deslocando-se em sentido contrário, tenha surgido na faixa oposta durante a realização da manobra”.

2.3.3 Condições do pavimento

A análise do pavimento é de fundamental importância para verificar não só as condições de conforto e segurança da via. No que se refere à segurança, em especial a aderência pneu/pavimento, tem-se que a verificação é feita por meio da mensuração do coeficiente de atrito nesta interface, podendo a textura superficial ser considerada como fator dominante da aderência (Bucharles, 2014).

A resistência à derrapagem da superfície do pavimento em condições molhadas é um componente essencial na segurança viária. Dessa forma, o coeficiente de atrito para esta situação deve ser considerado na etapa de projeto geométrico de pavimentação da rodovia. O coeficiente de atrito entre o pneu e o pavimento representa a condição de aderência entre essas duas superfícies, sendo que o seu valor varia consideravelmente devido à muitos elementos físicos, tais como a pressão de inflação dos pneus, composição e condições dos pneus, tipo e condição da superfície do pavimento e a presença ou não de água (Mattos, 2009).

Estudos realizados na França mostraram que a deficiência da aderência pneu-pavimento foi a responsável direta por 7% dos acidentes rodoviários ocorridos no país. Aproximadamente 2% destes acidentes poderiam ter sido evitados caso as rodovias em questão possuíssem valores mínimos de coeficientes de atrito longitudinal (Ferreira, 2002).

A mobilidade e a dirigibilidade de um veículo automotor ficam diretamente condicionadas à aderência do pneu com a superfície da camada de rolamento do pavimento. O coeficiente de atrito na interface pneu/pavimento é composto de duas parcelas:

- Atrito por adesão, decorrente da atração molecular das superfícies de contato (forças van der Waals);
- O atrito devido à perda por histerese, decorrente da deformação cíclica da superfície dos pneus em virtude da aspereza do pavimento,

ou seja, é a perda de energia durante um ciclo de deformação e recuperação do material.

A microtextura da superfície, a temperatura e a velocidade de deslocamento influenciam na adesão, enquanto a histerese está relacionada à macrotextura do pavimento (Pereira et al., 2012).

A preocupação com o gerenciamento das velocidades nas vias públicas existe em todo o mundo. Muitas pesquisas apontam o excesso de velocidade como um dos principais fatores de acidentes automobilísticos (Schmitt, 2009). Nos itens a seguir será apresentada a influência da velocidade na ocorrência e gravidade dos acidentes de trânsito.

2.4 GERENCIAMENTO DA SEGURANÇA VIÁRIA

O grau de segurança de uma rodovia depende das medidas tomadas com esse objetivo, desde a fase de planejamento até a operação da rodovia, após a abertura ao tráfego. A falta de atenção a problemas aparentemente pequenos, na fase de planejamento, pode revelar-se desastrosa quando a rodovia é aberta ao tráfego. A combinação desses problemas pode adquirir proporções que somente serão visíveis a posteriori, exigindo correções que representam custos adicionais desnecessários (DNIT, 2010b).

O conceito de rodovias seguras ou de rodovias que perdoam, conhecidas na literatura internacional como “*forgiving roads*”, é uma forma de conceber projetos de rodovias, bem como manter as rodovias existentes. O objetivo dos projetos de uma rodovia que perdoa é transformar as rodovias em estradas mais amigáveis, através do uso de zonas livres de obstáculos, suportes de sinalização colapsíveis, bem como dispositivos de segurança viária aprovados, como defensas metálicas e seus terminais definidos por normas técnicas, como a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

No planejamento e projeto de rodovias seguras, a primeira decisão é o tipo de rodovia necessário e o nível de serviço a considerar. A segunda decisão crítica é a seleção dos critérios de projeto. Para muitos dos elementos do projeto há um intervalo de valores a serem adotados, variando entre níveis mínimo e máximo.

Embora padrões mais altos de rodovia tenham maior custo inicial, estes podem resultar em vantagens a longo prazo, principalmente quando se espera maior demanda e variedade de veículos no futuro. Problemas surgem quando necessidades adicionais são impostas a rodovias

existentes, com limitações de projeto e de faixa de domínio, principalmente em rodovias de grande volume de tráfego e altas velocidades, onde o desenvolvimento marginal pode resultar em maiores volumes de acessos e conflitos de tráfego.

As rodovias de grande volume de tráfego, que adotam controle de acesso e a separação das correntes de sentidos contrários, por exemplo, apresentam condições de segurança muito superiores às demais. Infelizmente não se podem projetar todas as rodovias atendendo a essas condições. A limitação de recursos exige que rodovias de baixo volume de tráfego sejam construídas com condições inferiores.

A manutenção adequada de uma rodovia prevê a reabilitação ou reconstrução de muitos de seus trechos, em função de sua deterioração com o tempo e o uso, criando oportunidades para a incorporação de medidas de segurança, de forma eficiente. Os projetistas devem caracterizar, de forma convincente, a necessidade das medidas de segurança, já que a redução de riscos diminui os custos dos acidentes para a sociedade como um todo, e esses recursos são sempre limitados (DNIT, 2010b).

A maior parte dos problemas de segurança viária pode ser previsto e evitado durante as fases de planejamento e projeto, pela realização de uma auditoria de segurança. A qualificação da mão de obra, através da formação ou qualificação de profissionais em segurança viária para atuar nas áreas de planejamento, projeto e controle de tráfego, além de trazer soluções mais racionais e criativas aos problemas surgidos, amplia os horizontes do planejamento, evitando grande parte dos problemas que possam surgir.

Como mencionado anteriormente, muitos estudos apontam a falha humana como causa de grande parte dos acidentes no trânsito. Essa falha pode ocorrer por diversas razões, entre elas a pouca habilidade de direção, deficiências do projeto, ausência de informações essenciais e acúmulo de informações em determinados pontos da via. Medidas para mitigar essas deficiências podem melhorar a qualidade da operação da rodovia e aumentar a segurança. Os planejadores, projetistas e operadores devem determinar as informações necessárias, onde devem ser localizadas e a forma de apresentá-las, com o objetivo de maximizar a compreensão de situações que podem levar a erros.

2.4.1 Programas de segurança viária

A redução no número de acidentes e, conseqüentemente, a redução dos custos sociais decorrentes, depende de intervenções que devem ser planejadas e implementadas pelas autoridades competentes. Estas intervenções precisam estar embasadas em estudos para que sejam eficientes, dependendo de informações obtidas nos bancos de dados de acidentes (CTRE, 2009).

A preocupação com o gerenciamento das velocidades nas vias públicas existe em todo o mundo. Muitas pesquisas apontam o excesso de velocidade como um dos principais fatores de acidentes automobilísticos (Schmitt, 2009).

A Organização Mundial de Saúde entende que um sistema seguro para a segurança rodoviária inclui uma abordagem para a gestão de velocidade. Segundo ROSPA - *The Royal Society for the Prevention of the Accidents* (ROSPA, 2014), este sistema deve levar em conta que os usuários da estrada cometem erros, mas que as conseqüências destes erros podem, e devem, ser limitadas.

O entendimento de promover ações a fim de evitar mortes no trânsito foi a estratégia aprovada pelo parlamento sueco em 1997 e adotada por países da União Europeia. Este programa foi chamado de Visão Zero. Este programa fundamenta-se no princípio que nunca pode ser eticamente aceitável que alguém morra ou fique gravemente ferido enquanto se desloca pelo sistema rodoviário de transporte. Dentro dessa ótica, zero não é um número a ser alcançado em uma data específica, mas uma visão da segurança do sistema que ajuda na construção de estratégias e no estabelecimento de metas (Raia Jr, 2009).

Os conceitos da Visão Zero vão contra a atual visão na maior parte dos países do mundo, na legislação, nas estruturas de fiscalização, nas pesquisas, na mídia, que focam a atenção, de forma quase exclusiva, na culpa dos usuários. No programa Visão Zero, a responsabilidade deve ser dividida entre os usuários da via, bem como entre os planejadores e gestores. (Waiselfisz, 2013).

Na Visão Zero, o sistema de tráfego deve ser adaptado para considerar melhor as necessidades, erros e vulnerabilidades dos usuários. Além disso, de acordo com PIARC (2003), a velocidade dos veículos é o fator mais importante para a segurança viária.

Dentre as ações a serem implementadas com o programa Visão Zero destacam-se medidas básicas, que incluem o aporte financeiro e o controle de qualidade, e medidas individuais, que incluem treinamentos, leis e fiscalização, infraestrutura, tecnologia veicular, além de serviços de resgate.

Tendo como base o programa da Suécia, 28 países que integram a União Europeia, além de México e Estados Unidos, congregados na *Organization for Economic Co-operation and Development* – OECD foram progressivamente adotando essa visão, estabelecendo um sistema de segurança com metas em direção à visão zero. Nesses países, a mortalidade no trânsito foi reduzida em 50%, desde 1970, apesar do incremento da motorização.

Outro programa de segurança viária que merece destaque é o programa holandês *Sustainable Safety* (Segurança Sustentável). Este programa tem o conceito de que todo o sistema de trânsito e transporte deve ser ajustado para as limitações e as possibilidades dos usuários de rodovias. Além disso, todas as ações do programa visam à prevenção de acidentes. Caso ocorram acidentes, estes devem ter consequências mínimas (PIARC, 2003).

No programa de segurança holandês, os usuários da rodovia são alvos de campanhas educativas e seu comportamento é testado regularmente. Além disso, os veículos são projetados para simplificar a tarefa de condução e oferecem proteção adequada em caso de acidente (PIARC, 2003).

A redução do número e gravidade dos acidentes, e conseqüentemente a redução dos custos sociais envolvidos, depende de intervenções que devem ser planejadas e implantadas pelas autoridades competentes. Um programa amplo de segurança deve contemplar todos os grupos de fatores contribuintes, devendo ser devidamente identificados, investigados e combatidos (Chagas, 2011).

Para aumentar a segurança viária, é necessária a formulação de políticas eficientes em relação à educação, à fiscalização e à engenharia. Isso requer um planejamento adequado, que promova um trânsito mais seguro, reduzido e, se possível, elimine os acidentes de trânsito (Queiroz, 2003).

Em geral, as técnicas para análise, redução e prevenção de acidentes de trânsito apresentam procedimentos semelhantes entre si. Elas

procuram investigar as causas por meio da identificação de locais críticos (Queiroz, 2003).

Elvik (2008) realizou um estudo de pontos críticos em rodovias de oito países da Europa, entre eles, Áustria, Dinamarca, Bélgica (Região Norte - Flandres), Alemanha, Hungria, Noruega, Portugal e Suíça. Foi comparado o estado da arte das técnicas para identificação dos locais críticos em cada país, e a maioria dessas técnicas mostrou-se susceptível a imprecisões. Da mesma forma, a falta de normalização causou dificuldades às análises.

No Brasil, essa realidade não é diferente, onde as metodologias para estudos de redução dos acidentes de trânsito, em geral, utilizam as seguintes etapas:

- Coleta de informações;
- Identificação das causas;
- Diagnóstico e avaliação.

Geralmente as falhas no planejamento trazem problemas e críticas em relação à falta de alternativas no sistema proposto, assim como nas metas e objetivos. Os projetos baseados, muitas vezes, apenas em critérios econômicos, não analisam o custo versus benefício de um investimento. Por isso, o crescimento da frota de veículos e da população geram problemas, como acidentes de trânsito, congestionamentos, falha nos acostamentos, entre outros (CORREA E RAIA JR., 2006).

Apesar das medidas que conduzem à minimização dos acidentes de trânsito, como programas de prevenção e investimentos em melhorias, pode-se constatar, com os números apresentados, que o problema persiste, tornando necessário o conhecimento das suas reais causas para se buscar a eficiência na educação do trânsito, na legislação e na fiscalização. Além disso, devem-se adotar diagnósticos e avaliações técnicas com o conhecimento da engenharia de tráfego. (Schmitz, 2011).

2.4.2 Métodos para identificação de locais e segmentos críticos em acidentes de trânsito

De acordo com o manual “Procedimentos para o tratamento de locais críticos de acidentes de trânsito”, desenvolvido pelo Ministério dos Transportes, por meio do Programa Pare (MT, 2002), desde a década de 1970, observa-se que as experiências nacionais no tratamento dos acidentes de trânsito seguem cinco linhas de atuação:

- Por local crítico;
- Por segmento crítico;
- Por área crítica;
- Por solução-tipo;
- Por tipo de usuário.

As três primeiras linhas diferem apenas em relação à extensão da área a ser tratada, enquanto que as demais apresentam características próprias. Local crítico de acidente são pontos de uma via que apresentam uma frequência excepcionalmente elevada de acidentes, quando comparado a demais pontos da malha viária. Segmentos críticos são extensões de vias urbanas ou rodovias onde ocorrem frequências elevadas de acidentes. Neste caso, cada segmento viário deve ser tratado como um todo, incluindo, muitas vezes, suas áreas adjacentes (MT, 2002).

Em relação à atuação por área crítica, observa-se que, geralmente, há uma concentração de acidentes de trânsito em certas manchas urbanas onde, predominantemente, localiza-se a maior parte das atividades de comércio e de serviço. Isso não implica, necessariamente, que as condições de trânsito nessas áreas sejam relativamente mais perigosas que no restante da cidade.

As estratégias que adotam a solução-tipo têm como característica a aplicação de determinadas medidas de engenharia de tráfego com eficácia comprovada, ou seja, que proporcionam significativa redução no número e/ou na gravidade dos acidentes (MT, 2002).

No caso da atuação por tipo de usuário, as medidas preventivas e corretivas concentram-se em um único usuário da via. Assim, os estudos podem ser dirigidos aos ciclistas, motociclistas, escolares, pedestre, etc. A adoção dessa estratégia geralmente está associada a políticas públicas em favor da segurança de determinada categoria de usuários do sistema viário, em vista da ocorrência de um nível elevado de acidentes envolvendo esses usuários (MT, 2002).

De acordo com Paro (2009), os métodos e procedimentos para identificação de trechos críticos ou segmentos críticos quanto à segurança, utilizados em diversos países, podem ser divididos em dois grandes grupos: os métodos “a posteriori” que requerem o uso de registros de acidentes ocorridos em um dado período de tempo e, os métodos “a priori” que não se baseiam diretamente nos dados históricos de acidentes,

mas sim em fatores que se supõe estarem relacionados com a ocorrência destes.

Os procedimentos “a posteriori” disponíveis para identificação de locais que apresentam um padrão anormal de segurança viária baseiam-se no fato de que os acidentes, apesar de sua ampla distribuição espacial, tendem a agregar-se em determinados locais da malha viária. A identificação de locais críticos consiste em, através de um banco de dados de acidentes, estratificar as ocorrências por tipo e gravidade, hierarquizar os locais onde ocorreram acidentes e estabelecer as prioridades para uma investigação direcionada (MT, 2002).

Os métodos para identificação de locais críticos encontrados na literatura são classificados em numéricos, estatísticos, técnicas do conflito (MT, 2002), e auditoria de segurança viária (Nodari, 2003). Todos os métodos que serão apresentados a seguir encontram-se no Manual de Procedimento para o Tratamento de locais críticos do Programa PARE, desenvolvido pelo Ministério dos Transportes (MT, 2002), exceto o de auditoria de segurança viária.

2.4.2.1 Métodos numéricos

Os métodos numéricos para determinação dos locais críticos são os mais simples e de mais fácil aplicação, sendo por esse motivo os mais utilizados na prática. Identificam os locais críticos a partir do cálculo de indicadores (quantidade de acidentes, taxas de acidentes), comparados com um valor pré-estabelecido. São declarados como locais críticos aqueles cujos indicadores calculados sejam maiores que o valor de referência. Dessa forma, existem duas categorias distintas: numéricos absolutos e numéricos relativos (Schmitz e Goldner, 2012).

a) Métodos numéricos absolutos

Considera-se nesta categoria a quantidade de acidentes de forma absoluta, sem relacioná-la a qualquer outra variável. O custo social do acidente de trânsito é visto como uma sofisticação desse método, considerando-se nesta categoria duas técnicas:

- Técnica do Número de Acidentes: considera somente o número de ocorrências em um cruzamento ou trecho de via;
- Técnica da Severidade de Acidentes: associa a cada nível de gravidade um determinado peso.

No Reino Unido, um dos principais países que utilizam equipamentos eletrônicos para a fiscalização de velocidade, os locais onde são implantados os equipamentos são selecionados de acordo com o número de acidentes com feridos graves e mortes, assim como outros fatores, incluindo a velocidade. O número mínimo de acidentes com feridos graves e mortes, utilizado para implantação de equipamentos de controle de velocidade, é quatro, para um período de três anos, sendo este valor aplicado tanto em área urbana quanto rural.

b) Métodos numéricos relativos

O método numérico relativo considera a quantidade de acidentes, porém dentro de um universo de possibilidades, levando em conta os riscos ou periculosidade (frequência de acidentes versus volume de tráfego) e as tendências (evolução histórica na frequência de acidentes) para o local em estudo, considerando-se nesta categoria duas técnicas:

- Técnica da Taxa de Acidente: relaciona a quantidade de acidentes de trânsito com o volume de tráfego em cada local;
- Técnica da Taxa de Severidade dos Acidentes: relaciona a quantidade de acidentes, expressa em Unidade Padrão de Severidade - UPS, com o volume de tráfego.

O DENATRAN (1987) recomenda alguns aspectos complementares de fundamental importância para que se leve em conta o valor da integridade física e da vida humana no trânsito, considerando o grau de severidade dos acidentes. Para tanto, criou-se o conceito de Unidade Padrão de Severidade (UPS), em que se atribui um peso a cada acidente, dependendo de sua gravidade. Existem diferentes métodos que atribuem peso à severidade. Entre eles, destacam-se as metodologias que

trazem fatores de ponderação do DENATRAN (1987), na qual, a severidade, expressa em UPS, é obtida conforme a Equação 1.

$$UPS = (1 \times ASV) + (5 \times ACF) + (13 \times ACM) \quad (1)$$

Onde:

UPS: Unidade Padrão de Severidade;

ASV: Acidentes sem vítimas;

ACF: Acidentes com feridos;

ACM: Acidentes com mortes.

Sabendo-se que o número de acidentes é proporcional ao volume de tráfego que circula em uma rodovia, foi adotada a Equação 2 para o cálculo da taxa (T) de acidente nos segmentos da rodovia:

$$T = \frac{n^{\circ} UPS \times 10^6}{VDM \times P \times E} \quad (2)$$

Onde:

T: Taxa de severidade de acidentes;

VDM: Volume diário médio de veículos passando pelo trecho;

P: Período de estudo (normalmente 365 dias);

E: Extensão do trecho (em km).

Outro método numérico para identificação de locais críticos foi proposto em 2002 pelo Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes – CEFTRU, da Universidade de Brasília. A proposta deste método é estruturada nas técnicas da severidade e da taxa de severidade. Para cálculo da UPS, faz-se uma ponderação do número de acidentes de acordo com a gravidade dos mesmos. Assim, acidentes somente com danos materiais recebem peso 1, acidentes com ferido(s) peso 4, acidentes envolvendo pedestres peso (6) e acidentes com vítimas fatais peso (13) (MT, 2002).

O método sugere inicialmente que locais onde ocorreram intervenções físicas, após o período de referência em estudo, bem como aqueles em que o número de acidentes é menor ou igual a três, exceto os com registro de pelo menos um óbito no período, sejam excluídos da análise (MT, 2002).

Após a exclusão, estrutura-se uma lista contendo um número de locais duas vezes superior ao número que se pretende tratar, segundo ordem decrescente de ocorrências. Selecionados os locais calcula-se a UPS para cada trecho e a média das UPSs dos trechos, sendo considerados locais/trechos críticos aqueles com UPS igual ou superior a essa média (MT, 2002).

2.4.2.2 Métodos estatísticos

Os métodos estatísticos envolvem a utilização de modelos matemáticos probabilísticos que determinam os locais onde o risco de acidente é superior ao estimado ou esperado.

Kang e Lee (2007) afirmam que muitas análises vêm utilizando métodos estatísticos para mensurar riscos ou quantidades de acidentes de trânsito. Há estudos com variáveis significativamente selecionadas que têm uma grande influência nos acidentes de tráfego. Nesses estudos, é examinada a relação entre essas variáveis e os acidentes, usando análise de regressão, ou então outros métodos, baseados na teoria de redes neurais, análises de risco e análises de múltipla classificação.

O método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) (1987) é um método probabilístico, utilizado para determinar os segmentos críticos de rodovias. Tal método baseia-se na probabilidade de ocorrência de um acidente em um determinado segmento, tendo como base de comparação uma amostra estudada (Schmitz, 2011). Desta forma, quando a probabilidade de ocorrência de acidentes de um segmento for maior que a probabilidade de ocorrência da amostra, o segmento é considerado crítico, durante um intervalo de tempo.

2.4.2.3 Método da técnica de conflitos

Os conflitos surgem quando duas correntes de tráfego, em um mesmo nível, divergem, convergem ou cruzam, havendo um perigo potencial de colisões ou de atropelamentos. Segundo Galeno (2002), as técnicas de conflito devem ser utilizadas como uma metodologia de observação dos problemas de segurança viária e não apenas como um indicador de segurança, podendo ser melhorados os projetos de trânsito, dando melhor atenção à questão do impacto que os acidentes provocam no comportamento do tráfego e não apenas na frequência dos mesmos.

Os conflitos de tráfego são significativamente mais frequentes do que os acidentes propriamente ditos. No entanto, informações relativas a conflitos de tráfego não são substitutas às informações de acidentes de boa qualidade. Sempre que possível, o método propõe a execução de uma auditoria de segurança viária no local em que se pretende instalar um sistema de controle de velocidade a fim de identificar problemas relacionados à segurança viária. Além disso, as técnicas de conflito de tráfego são aplicáveis somente à análise de interseções, não sendo economicamente viáveis em segmentos de vias (Nodari, 2003)

2.4.2.4 Método da auditoria de segurança viária

Auditoria de segurança baseia-se na ação preventiva de verificação de fatores de risco. O auditor, especialista em análise de acidentes e segurança viária, aplica uma lista de verificação sistemática, desenvolvida para detectar deficiências importantes. A verificação pode ser realizada nas etapas de projeto, antes da liberação das vias ao tráfego, ou como revisão da segurança em vias existentes (Brandão, 2007). Nodari e Lindau (2003) destacam que a auditoria de segurança das rodovias e as pesquisas e práticas em auditoria em segurança viária motivam a utilização de check-list na identificação das características que potencializam a ocorrência de acidentes.

Quando os sistemas de controle de velocidade não atingirem o objetivo esperado em relação à redução da velocidade e número e gravidade dos acidentes, deve-se avaliar a adoção de medidas de engenharia alternativas, como o uso de técnicas moderadoras de tráfego, implantação de semáforos, entre outras.

Algumas características do local, tais presença de pedestres, condições da sinalização e iluminação, conflitos de tráfego, dentre outras características, devem ser identificadas através de visita *in loco*. Os dados sobre conflitos de tráfego observados podem ser utilizados para o diagnóstico de deficiências nos projetos geométricos e no planejamento de sistemas de controle de tráfego, incluindo um sistema de controle de velocidade.

2.5 CONTROLE DE VELOCIDADE

O conflito entre o tráfego rodoviário de longo percurso e o tráfego local, caracterizado por diversas interseções e acessos à rodovia, muitos deles não autorizados, e inúmeras travessias de pedestres, pode ser

evitado por medidas construtivas como contornos rodoviários das cidades ou vias marginais à rodovia federal para absorção do tráfego urbano local. Estas medidas têm sido implementadas, mas demandam maiores recursos e prazos para execução (DNIT, 2010a).

O conhecimento da velocidade em um determinado local é de grande importância para aplicações em estudos de segurança viária, destacando algumas aplicações com os seguintes objetivos (Lopes e Porto Júnior, 2007):

- Adequar a velocidade aos projetos de infraestrutura e controle de tráfego para a prevenção de acidentes;
- Monitoramento do tráfego para prevenir ou identificar os riscos de acidentes;
- Eliminar ou reduzir o número e a gravidade dos acidentes.

Thielen (2002) analisou as percepções dos motoristas sobre o excesso de velocidade no trânsito de Curitiba - PR, através de entrevistas com motoristas multados por excesso de velocidade e motoristas sem multas. A autora concluiu que os motoristas cometem infrações percebem os riscos envolvidos da mesma maneira do que os motoristas que não cometem infração por excesso de velocidade. Tal estudo constatou ainda que o papel da fiscalização eletrônica como instrumento para coibir o excesso de velocidade se mostrou útil em relação à:

- Percepção dos motoristas infratores, por imposição;
- Percepção dos motoristas não infratores pela aceitação de um mecanismo regulador que orienta o trânsito;
- Análise técnica dos órgãos responsáveis pelo gerenciamento da fiscalização, por meio da constatação da redução de acidentes e da velocidade nos locais com controle de velocidade.
- Frequentemente é observada a implementação de medidas de controle de tráfego isoladamente, sem considerar outras medidas de engenharia complementares, que poderiam garantir a eficiência em relação à melhoria das condições de segurança viária de um determinado trecho. Tais medidas podem representar medidas de baixo custo ou até mesmo correção do traçado em um determinado trecho da rodovia.

A seguir serão apresentados alguns mecanismos utilizados para o controle de velocidades, incluindo a sinalização viária, ondulações

transversais e sonorizadores, além dos dispositivos eletrônicos de controle de velocidade.

2.5.1 Dispositivos físicos de controle de velocidade

A seguir serão apresentadas medidas que atuam diretamente no controle de velocidade das vias, fazendo com que haja uma maior obediência dos motoristas aos limites de velocidade estabelecidos. Tais medidas incluem a sinalização, dispositivos físicos e dispositivos eletrônicos de controle de velocidade, que devem ser consideradas em projetos de segurança viária e operação de rodovias.

2.5.1.1 Sinalização

De acordo com a resolução 160 de 22 de abril de 2004 (CONTRAN, 2004), que aprova o anexo II do Código de Trânsito Brasileiro – CTB, a sinalização viária se divide em sinalização vertical, horizontal e dispositivos auxiliares.

a) Sinalização Vertical

O Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (CONTRAN, 2007a) define a sinalização vertical como:

Um subsistema da sinalização viária, que se utiliza de sinais apostos sobre placas fixadas na posição vertical, posicionadas ao lado ou suspensas sobre a pista, transmitindo mensagens de caráter permanente ou, eventualmente, variável, mediante símbolos e/ou legendas pré-estabelecidas e legalmente instituídas (CONTRAN, 2007, p. 21).

A sinalização vertical é classificada de acordo com sua função, podendo ser: sinalização de regulamentação, de advertência e de indicação.

A sinalização vertical de regulamentação tem por finalidade informar aos usuários as condições, proibições, obrigações ou restrições no uso das vias. Suas mensagens são imperativas e o desrespeito a elas constitui infração. Em relação ao controle de velocidade nas vias, alguns sinais de sinalização de regulamentação que se destacam estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Sinais de regulamentação relacionados ao controle de velocidade

Sinais	Código	Nome
	R-1	Parada obrigatória
	R-2	Dê a preferência
	R-19	Velocidade máxima permitida

Fonte: Contran (2007a)

Em relação à placa R-19 (velocidade máxima estabelecida), a velocidade indicada vale a partir do local onde estiver colocada a placa, até onde houver outra que a modifique, ou enquanto a distância percorrida não for superior ao intervalo estabelecido na Tabela 9, que indica as distâncias máximas entre placas R-19.

Tabela 9 - Distâncias máximas entre placas R-19

Velocidade Regulamentada	Distâncias máximas	
	Vias Urbanas (km)	Vias Rurais (km)
Velocidade inferior ou igual a 80 km/h	1,0	10,0
Velocidade superior a 80 km/h	2,0	15,0

Fonte: Contran (2007a)

De acordo com o manual do Contran (2007a), a placa R-19 deve ser utilizada quando:

- Em vias em que haja necessidade de informar ao usuário a velocidade máxima regulamentada;
- Em vias fiscalizadas com equipamentos medidores de velocidade, conforme critérios técnicos estabelecidos em legislação específica;
- Quando estudos de engenharia indicarem a necessidade e/ou a possibilidade de regulamentar velocidade menor ou maior do que as estabelecidas no artigo 61, § 10 do CTB.
- Para determinação da velocidade máxima a ser regulamentada para via ou trechos de via, o estudo de engenharia deve:
 - Identificar a via urbana ou rural e a classificação viária definida no artigo 60 do CTB;
 - Avaliar a existência e as condições de deslocamento lateral, do tipo transposição de faixas, movimentos, conversão e retorno;
 - Avaliar a existência e as condições de estacionamento, parada e acesso;
 - Verificar a velocidade abaixo da qual trafegam 85% dos veículos (85 percentil);
 - Avaliar as características e condições do pavimento;
 - Avaliar a existência e condições dos acostamentos;
 - Avaliar as condições de alinhamento vertical e horizontal;
 - Avaliar as condições de segurança em curvas;
 - Identificar os locais com situação potencial de perigo, tais como: inadequação geométrica, obras na pista, atrito lateral, passagem de nível, travessia de pedestres, área escolar;
 - Levantar e analisar as estatísticas de ocorrência de acidentes;
 - Avaliar as condições do trânsito de pedestres e ciclistas ao longo da via;
 - Avaliar a composição do tráfego considerando a incidência de veículos de grande porte.

A sinalização vertical de advertência tem como objetivo alertar os usuários da via para condições de perigo, além de indicar sua natureza (CONTRAN, 2007b). Os sinais de sinalização de indicação que se destacam em relação ao controle de velocidade nas vias estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Sinais de advertência relacionados ao controle de velocidade

Sinais	Código	Nome
	A-15	Parada obrigatória à frente
	A-18	Saliência ou lombada
	A-32a	Trânsito de pedestres
	A-32b	Passagem sinalizada de pedestres
	A-33a	Área escolar
	A-33b	Passagem sinalizada de escola
	A-34	Crianças

Fonte: Contran (2007b)

A sinalização de indicação tem por finalidade identificar as vias e os locais de interesse, bem como orientar condutores de veículos quanto aos percursos, os destinos, as distâncias e os serviços auxiliares, podendo também ter como função a educação do usuário. Suas mensagens possuem caráter informativo ou educativo.

b) Sinalização horizontal

De acordo com o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume IV – Sinalização horizontal (CONTRAN, 2007c):

A sinalização horizontal é um subsistema da sinalização viária composta de marcas, símbolos e legendas, apostos sobre o pavimento da pista de rolamento. A sinalização horizontal tem a finalidade de fornecer informações que permitam aos usuários das vias adotarem comportamentos adequados, de modo a aumentar a segurança e fluidez do trânsito, ordenar o fluxo de tráfego, canalizar e orientar os usuários da via (CONTRAN, 2007).

A sinalização horizontal é classificada em:

- Marcas longitudinais – separam e ordenam as correntes de tráfego;
- Marcas transversais – ordenam os deslocamentos frontais dos veículos e disciplinam os deslocamentos de pedestres;
- Marcas de canalização – orientam os fluxos de tráfego em uma via;
- Marcas de delimitação e controle de parada e/ou estacionamento – delimitam e propiciam o controle das áreas onde é proibido ou regulamentado o estacionamento e/ou a parada de veículos na via;
- Incrições no pavimento – melhoram a percepção do condutor quanto as características de utilização da via.
- No caso do controle das velocidades, destacam-se as marcas transversais, as quais ordenam os deslocamentos, informam sobre a necessidade de reduzir a velocidade e indicam travessia de pedestres e posições de parada. De acordo com a sua função, as marcas transversais são subdivididas nos seguintes tipos:
- Linha de retenção (LRE) - indica ao condutor o local limite em que deve parar o veículo.
- Linhas de estímulo à redução da velocidade (LRV) - conjunto de linhas paralelas que, através do efeito visual, induzem o motorista a reduzir a velocidade do veículo.
- Linha de “Dê a Preferência” (LDP) - indica ao motorista o local limite

em que deve aguardar a brecha para ingressar no fluxo veicular.

- Faixas de travessia de pedestres (FTP) - regulamentam o local de travessia de pedestres.

2.5.1.2 Ondulações transversais e sonorizadores

A Resolução 39 do CONTRAN (1998) estabelece padrões e critérios para a instalação de ondulações transversais e sonorizadores nas vias públicas:

A implantação de ondulações transversais e sonorizadores nas vias públicas dependerá de autorização expressa da autoridade de trânsito com circunscrição sobre a via, podendo ser colocadas após estudo de outras alternativas de engenharia de tráfego, quando estas possibilidades se mostrarem ineficazes para a redução de velocidade e acidentes (CONTRAN, 1998, p. 1).

As ondulações transversais devem ser utilizadas em locais onde se pretenda reduzir a velocidade do veículo, de forma imperativa, principalmente naqueles onde há grande movimentação de pedestres. Já os sonorizadores só poderão ser instalados em vias urbanas, sem edificações lindeiras, e em rodovias, em caráter temporário, quando houver obras na pista, visando alertar o condutor quanto à necessidade de redução de velocidade, sempre devidamente acompanhados da sinalização vertical de regulamentação de velocidade.

A Resolução 39/1998 do Contran recomenda ainda que após a implantação das ondulações transversais a autoridade com circunscrição sobre a rodovia monitore o seu desempenho por um período mínimo de 1 (um) ano, devendo estudar outra solução de engenharia de tráfego, quando não for verificada expressiva redução do índice de acidentes no local.

2.5.2 Dispositivos eletrônicos de controle da velocidade

Conforme cita a Resolução 396/2011 do Contran, a fiscalização de velocidade atua como instrumento para redução de acidentes e de sua gravidade. Neste sentido, a fiscalização eletrônica de velocidade é um meio de controlar o cumprimento das normas sobre velocidade de veículos, estabelecidas pelo CTB (Código de Trânsito Brasileiro).

A fiscalização eletrônica de velocidade pode ser definida como sendo a utilização de meios eletrônicos como um dos elementos para controlar e fiscalizar os limites de velocidade estabelecidos pelas autoridades de trânsito, detectando e identificando os veículos em excesso de velocidade para efeito de aplicação de multas, dando cumprimento às normas estabelecidas na legislação de trânsito (Gold, 2003).

Segundo McInerney et al (2001), a fiscalização de velocidade pode influenciar o comportamento do motorista através de dois tipos de dissuasão:

- Dissuasão específica, a qual motiva os motoristas que foram autuados previamente a não excederem o limite de velocidade;
- Dissuasão geral, na qual a fiscalização influencia o comportamento dos motoristas, independente de eles terem sido autuados ou não.

A fiscalização pode ser classificada em não ostensiva ou ostensiva. A ostensiva serve como aviso aos motoristas de que há um controle do limite de velocidade, como as lombadas eletrônicas.

O uso de radares e de lombadas eletrônicas tem demonstrado um grande efeito positivo no aumento da segurança de motoristas e pedestres por meio do controle e da redução da velocidade na circulação dos veículos. Através de observações realizadas por Framarim et al. (2003), verificou-se uma redução de 23% nos acidentes em vias da cidade de Porto Alegre, enquanto relata diminuições entre 20% e 30% em vias da Inglaterra e do Canadá depois da implantação destes controladores de velocidade.

A operação dos equipamentos de fiscalização eletrônica de velocidade tem reduzido consideravelmente a ocorrência de acidentes de trânsito em cidades como São Paulo, Campinas, Brasília e Salvador (Cannell, 2011).

A fiscalização eletrônica de velocidade é comprovadamente um dos meios mais eficientes para o controle da velocidade, pois é realizado durante 24 horas por dia e o infrator é detectado e identificado por registro fotográfico, permitindo ao agente da autoridade de trânsito emitir o auto de infração (Yamada, 2005).

Neste sistema de fiscalização, o registro das imagens da placa do veículo, data e hora da infração, bem como o número de identificação do equipamento e o local de sua instalação, são armazenados e processados em uma central. Na central, a placa e as características do veículo são

comparadas com o cadastro fornecido pelo órgão de trânsito, permitindo a emissão de multa.

Um sistema de controle de velocidade pode ter seu funcionamento considerado satisfatório com a ocorrência simultânea de quatro condições imprescindíveis (Gold, 2003):

- Os condutores devem estar cientes da velocidade máxima permitida nas vias onde estão circulando;
- Os potenciais infratores devem sentir que há grande chance de ter suas infrações detectadas, registradas e punidas;
- As medidas punitivas devem ser aplicadas de fato e devem ser suficientemente fortes para influir sobre o comportamento dos potenciais infratores;
- Os condutores devem ser alvo de campanhas publicitárias efetivas que expliquem e justifiquem plenamente as velocidades máximas fixadas e as medidas de fiscalização, inclusive com a divulgação dos resultados da fiscalização, em relação ao número de ocorrências e gravidade dos acidentes.

Sendo assim, quanto melhor a divulgação de informações sobre as velocidades máximas permitidas em um trecho e os motivos para esses limites aos condutores, melhores serão os resultados de um sistema de controle de velocidade. Um bom controle de velocidade é alcançado quando a grande maioria dos condutores trafega dentro dos limites permitidos de velocidade, ou seja, o número de infratores é mínimo.

De acordo com a Resolução 396/2011 do CONTRAN, são adotadas as seguintes definições a respeito dos equipamentos de controle de velocidade:

- Medidor de velocidade: instrumento ou equipamento destinado à medição de velocidade de veículos.
- Controlador eletrônico de velocidade: medidor de velocidade destinado a fiscalizar o limite máximo regulamentado para a via ou trecho por meio de sinalização (placa R-19) ou, na sua ausência, pelos limites definidos no artigo 61 do CTB;
- Redutor eletrônico de velocidade (barreira ou lombada eletrônica): medidor de velocidade, do tipo fixo, com dispositivo registrador de imagem, destinado a fiscalizar a redução pontual de velocidade em trechos considerados críticos, cujo limite é diferenciado do limite máximo regulamentado para a via ou trecho em um ponto específico

indicado por meio de sinalização (placa R-19).

Dentre os métodos de fiscalização eletrônica, diversos países vêm adotando o conceito de zonas de controle de velocidade, que será descrito a seguir.

A classificação de equipamentos medidores de velocidade pode ser definida quanto ao tipo de instalação e ainda quanto do tipo de tecnologia adotada, sendo estas apresentadas a seguir.

2.5.2.1 Classificação dos equipamentos quanto ao tipo de instalação

Segundo a Resolução 396/2011 do CONTRAN, a medição das velocidades desenvolvidas pelos veículos automotores nas vias públicas deve ser efetuada por meio de instrumentos ou equipamentos que registrem ou indiquem a velocidade medida, com ou sem dispositivo registrador de imagem (sem registro de foto), dos seguintes tipos:

- Fixo: medidor de velocidade com registro de imagens instalado em local definido e em caráter permanente;
- Estático: medidor de velocidade com registro de imagens instalado em veículo parado ou em suporte apropriado;
- Móvel: medidor de velocidade instalado em veículo em movimento, procedendo a medição ao longo da via;
- Portátil: medidor de velocidade direcionado manualmente para o veículo alvo.

Os equipamentos do tipo fixo possuem monitoramento contínuo da rodovia, como já mencionado anteriormente, sendo divididos entre lombadas eletrônicas e radares fixos, os chamados pardais.

As lombadas eletrônicas possuem grande visibilidade e a sinalização é acionada pelos veículos passantes, como sinais sonoros e luminosos, além da indicação da velocidade dos veículos (Gold, 2003). Este tipo de equipamento é mais apropriado para locais pontuais, onde haja grande fluxo de pedestres, como escolas e hospitais, e busca educar os motoristas a respeitarem os limites de velocidade. As lombadas eletrônicas possuem diversos tipos, de acordo com a utilização. As lombadas eletrônicas podem ser do tipo pórtico, monólitos e bandeiras, como mostram as Figuras 33 a 35.

Figura 23 - Lombada Eletrônica - tipo pórtico



Fonte: G1 SC (2015)

Figura 24 - Lombada Eletrônica - tipo monólito



Fonte: Portal Transporta Brasil (2011)

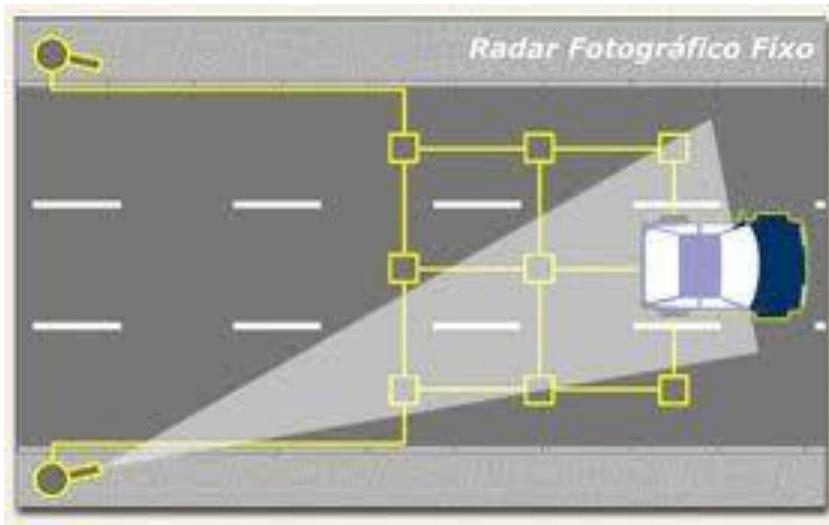
Figura 25 - Lombada Eletrônica - tipo bandeira



Fonte: Perkons (2014)

Um dos radares fotográficos utilizados no controle da velocidade é o radar fixo. Para seu funcionamento é necessária a instalação de laços indutivos para cada faixa de uma via. Assim, quando um veículo passa, os laços o detectam e o sistema calcula sua velocidade, como mostra a Figura 26. Caso a velocidade do veículo esteja acima do permitido no local, a câmera fotográfica é acionada, ressaltando-se que este sistema é independente para cada faixa de passagem (Goldner, 2008).

Figura 26 - Funcionamento do radar fixo



Fonte: DNIT (2013)

Os equipamentos estáticos são facilmente transportados e utilizados no monitoramento de pontos específicos da via de forma eventual. Estes equipamentos são apoiados em tripés e geralmente posicionados no acostamento da rodovia. Os equipamentos portáteis, também conhecidos como pistolas devido ao seu formato, são utilizados pela polícia rodoviária em ações específicas. Ainda de acordo com Lopes (2010), os instrumentos móveis e portáteis de fiscalização de velocidade, são normalmente utilizados pelas autoridades policiais para o monitoramento de rodovias federais e estaduais.

2.5.2.2 Classificação dos equipamentos quanto à tecnologia utilizada

Atualmente existem diferentes tipos de equipamentos mecânicos utilizados no controle de tráfego, sendo utilizados em diversas vias de trânsito, inclusive para medição de velocidades. Goldner (2008) destaca que há dois grupos de detectores de dados de tráfego, os quais podem ser classificados em: intrusivos, que se encontram implantados na via; e não intrusivos, que se encontram acima da via, não modificando a estrutura da mesma.

2.5.2.2.1 Equipamentos intrusivos

Dentre os detectores intrusivos podem ser citados:

- Laços indutivos;
- Sensores magnéticos;
- Sensores piezoelétricos.

A seguir será apresentado cada um dos detectores intrusivos mencionados.

a) Laços indutivos

Estes detectores são também chamados de *loops*, representam os sensores mais utilizados para a coleta de dados de tráfego. Sua composição básica é: um detector oscilador, que serve como uma fonte de energia ao detector; um cabo para o controlador; e um ou mais laços de metal enrolados sobre si mesmos instalados dentro do pavimento.

Este tipo de sensor se caracteriza por tratar-se de uma tecnologia amplamente utilizada, especialmente no Brasil, tendo precisão insensível às condições climáticas e, principalmente, pelo baixo custo que apresenta em comparação a outros sistemas de detecção (BARBOSA et al., 2005).

Seu funcionamento ocorre da seguinte maneira: o laço é constantemente alimentado com uma tensão com frequência fixa, sendo que há um cabo enrolado formando uma bobina por onde passa uma tensão elétrica, que gera uma indutância. Assim, quando um grande objeto metálico (como um automóvel) está próximo do laço, a indutância diminui, o que aumenta a frequência de oscilação, e este aumento faz com que a unidade de controle gere um pulso, acusando a passagem de um veículo.

O laço indutivo é capaz de fornecer dados sobre a passagem de veículos, presença, ocupação e velocidade, conseguindo realizar a classificação dos veículos, isto porque a diminuição da indutância é proporcional à quantidade de metal que passa sobre o laço (Figura 27). O funcionamento de lombadas eletrônicas ocorre através de laços indutivos.

Figura 27 - Laços indutivos instalados no asfalto



Fonte: Autora (2015)

b) Sensores magnéticos

Os sensores magnéticos ou magnetômetros são dispositivos que operam baseados na variação das linhas de fluxo do campo magnético terrestre. O funcionamento ocorre através de um rolo de fio com corpo de altíssima permeabilidade magnética, que é instalado abaixo da superfície do pavimento. Quando um objeto metálico passa pelo sensor, as linhas de fluxo constantes do campo magnético são deflexionadas, provocando uma variação na tensão. Então, um amplificador traduz essa variação em sinal digital, informando ao controlador de tráfego a detecção de um veículo.

Estes sensores são utilizados para medir volume, presença e velocidade de veículos. Os sensores magnéticos podem ainda ser divididos em dois tipos, ou seja, magnetômetros de indução e magnetômetros de eixo duplo.

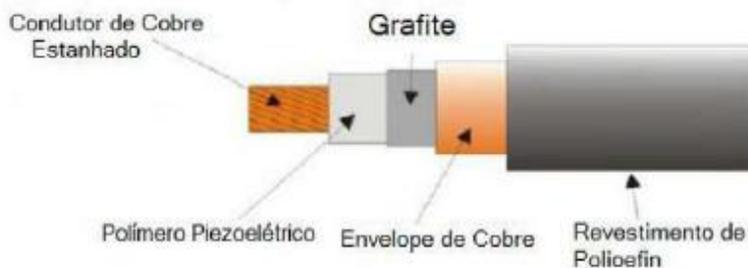
Os magnetômetros de indução, também chamados apenas de detectores magnéticos, não conseguem detectar veículos parados,

somente em movimento, com uma velocidade mínima entre 5 e 16 km/h. Já os magnetômetros de eixo duplo detectam mudanças nos componentes horizontais e verticais do campo magnético terrestre, causado pela passagem de um veículo, onde seu diferencial é poder detectar veículos em movimento ou parados.

c) Sensores piezolétricos

O material piezoelétrico tem propriedade para converter energia cinética em energia elétrica. Assim, quando um veículo passa sobre o sensor piezoelétrico, gera uma tensão proporcional à força ou ao peso do veículo, de modo que estes sensores podem medir volume, velocidade (com múltiplos sensores), peso e classificar os veículos (a partir da contagem de eixos e espaçamento). Estes sensores são usados principalmente na coleta de dados de tráfego e verificação de peso (balanças). O cabo piezoelétrico é composto por um cabo coaxial com um núcleo de metal, seguido pelo material piezoelétrico e uma camada externa de metal. Figura 28.

Figura 28 - Imagem de um cabo piezoelétrico



Fonte: Goldner (2008)

2.5.2.2.2 Equipamentos não intrusivos

Sensores não intrusivos são aqueles instalados acima ou na lateral da via, evitando intervenções no pavimento da via. O TRB (2004) destaca entre as vantagens deste tipo de sensor, a mínima necessidade de interrupção do tráfego durante sua instalação, a facilidade de manutenção e reparo e a baixa susceptibilidade a fatores ambientais que, geralmente, reduzem a vida útil dos sensores intrusivos.

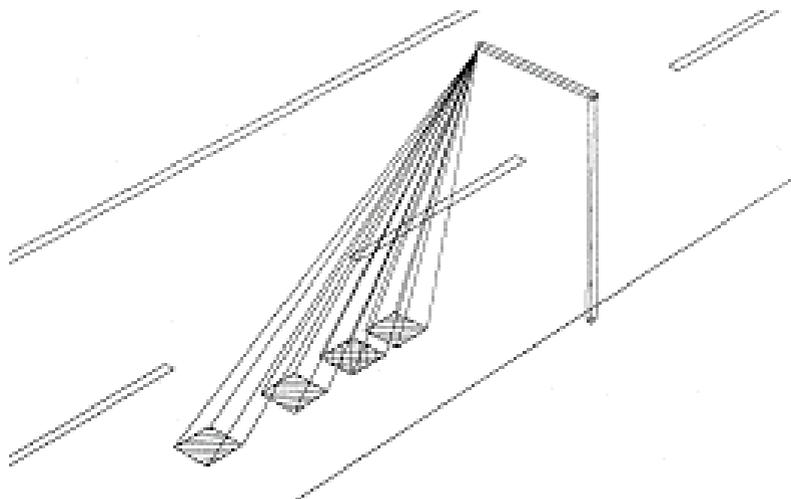
a) Sensores infravermelhos

Os sensores infravermelhos podem ser passivos ou ativos, podendo ser instalados lateralmente ou acima da via.

— Sensores infravermelhos passivos

Os sensores infravermelhos passivos detectam mudanças na energia infravermelha emitida ou refletida de uma determinada área. Este tipo de equipamento utiliza um detector de fótons para medir a energia infravermelha emitida pelos objetos situados no campo de visão do detector. Quando um veículo entra na zona de detecção, ele produz uma mudança na energia normalmente medida na superfície da via na ausência de veículos. Os sensores são capazes de verificar a presença do veículo, medir o volume e a ocupação, além de velocidade, como na Figura 29.

Figura 29 - Esquema de funcionamento do sensor infravermelho passivo



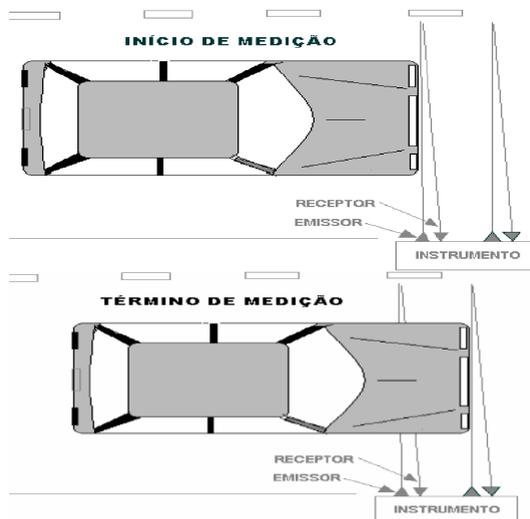
Fonte: Lopes (2010)

— Sensores infravermelhos ativos

Os sensores infravermelhos ativos, diferentemente dos sensores passivos que não emitem energia, apenas recebem, transmitem feixes de

laser na direção da via. O veículo é detectado ao atravessar esse feixe, onde parte do sinal é refletida e retorna ao equipamento, como ilustra a Figura 30. Estes sensores podem medir o volume, classificar, medir a densidade do tráfego e a velocidade.

Figura 30- Leitura em feixes de raio laser

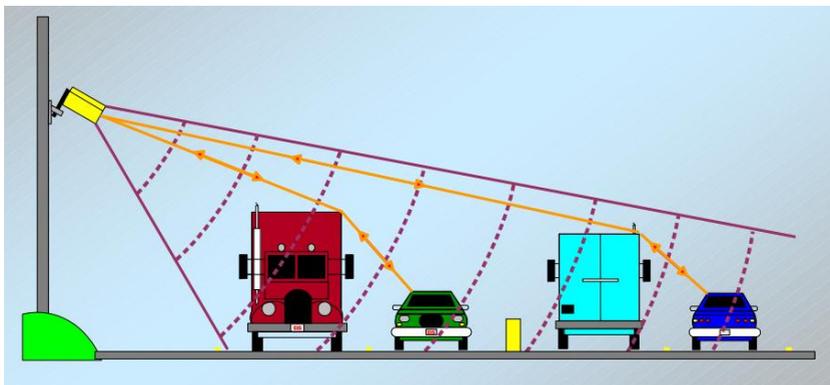


Fonte: Lopes (2010)

b) Sensores micro-ondas

Seu funcionamento ocorre através da transmissão de radiação de micro-ondas de baixa energia, em uma área do pavimento, que se dá a partir de uma antena, que analisa o sinal refletido e passa para o detector, como demonstra a Figura 31.

Figura 31 - Esquema do funcionamento do radar por micro-ondas

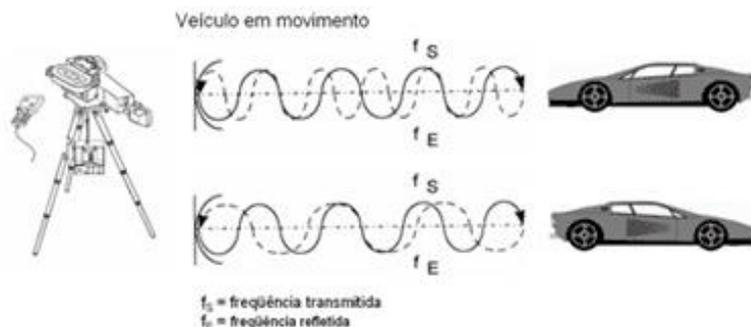


A antena pode ser posicionada na lateral ou por cima da via. Equipamentos montados lateralmente permitem o monitoramento de mais de uma faixa de trânsito com uma única antena. Quando instalados por cima da via, exigem uma antena para cada faixa de trânsito, o que de acordo com os fabricantes deste tipo de equipamento, garante uma maior precisão (TRB, 2004). Com relação aos sensores de micro-ondas, eles podem ser:

— Doppler

Mede a presença do veículo em função do movimento relativo de uma fonte sonora e seu receptor, a partir da mudança na frequência recebida de volta, como mostra a Figura 32. É capaz de medir a presença e a velocidade apenas de veículos em movimento, portanto, sua principal desvantagem é não detectar veículos parados. Tem também dificuldade de contar veículos em congestionamentos, na situação em que andam e param.

Figura 32 - Esquema do funcionamento sensor *doppler*



— Radar micro-ondas

A sigla RADAR (abreviatura de *Radio Detection and Ranging*) designa um instrumento para localização de objetos distantes por meio de ondas de rádio. Os radares usam sensores (antenas) para emitir feixes de micro-ondas sobre uma determinada faixa a ser monitorada. Quando o veículo passa através desse feixe, parte da energia transmitida é refletida de volta para a antena e entra em um receptor, onde a detecção do veículo é feita. Este sensor permite a verificação da presença de veículos parados, de maneira que, além de medir velocidade, pode ser utilizado para monitorar filas e ocupação de veículos.

c) Detectores por imagem

Segundo TRB (2004), a detecção veicular por vídeo é a mais utilizada dentre as tecnologias não intrusivas. Um sistema de processamento de imagens de vídeo tipicamente consiste em uma ou mais câmeras, um computador para digitalização e processamento das imagens e um software para interpretação das imagens e para convertê-las em dados do fluxo de tráfego (FHWA, 2007).

No perímetro urbano, as câmeras são um dos principais instrumentos dos sistemas de monitoramento das condições de tráfego e do gerenciamento de incidentes. Com elas podem ser coletados dados como: a velocidade, o volume de tráfego, a presença dos veículos, a ocupação do trecho, densidade do tráfego, os movimentos de conversão, as mudanças de faixa, a aceleração, a classificação de veículos e outros.

Ainda em relação aos detectores de imagens, o leitor automático de placas consiste em um moderno *software* integrado a câmeras de vigilância e a radares fotográficos, através dos quais é possível realizar a

leitura das placas dos veículos e enviá-las, em tempo real, para uma central que relaciona as informações recebidas com o banco de dados que possui. Dessa maneira, é possível identificar os veículos que circulam irregularmente, tais como os que estão circulando no dia de rodízio, aqueles com IPVA ou licenciamento atrasados, ou até mesmo veículos roubados ou clonados. Esta tecnologia trouxe maior eficiência e agilidade à fiscalização e ao cumprimento das normas de circulação de veículos.

d) Sensores ultrassônicos

Estes sensores emitem pulsos de energia sonora ultrassônica, acima da frequência audível humana, e medem o tempo gasto até o sinal retornar ao equipamento (Lopes, 2010). Estes sons refletem no pavimento ou no veículo e são captados pelo receptor, onde são processados para fornecerem informações de passagem e de presença de veículos. Usando dois feixes, separados por uma distância conhecida, calcula-se a velocidade e o comprimento dos veículos. Existem duas formas de montagem destes sensores, acima da via ou ao seu lado, conforme ilustra a Figura 33.

Figura 33 - Montagem de ultrassom faixa de medição de sensores



Fonte: Adaptado de FHWA (2011)

e) Detectores acústicos

Os detectores acústicos, também chamados de detectores sônicos, são constituídos por um conjunto de microfones apontados para o fluxo do tráfego, atuando de forma passiva, já que “escutam” a energia sonora proveniente da passagem dos veículos, causada, principalmente, pelo contato dos pneus com a superfície da via (TRB, 2004).

São capazes de classificar os veículos, comparando as assinaturas sônicas de um veículo com assinaturas já programadas, conforme a classe dos veículos. Portanto, conseguem detectar o volume, a velocidade e a ocupação dos veículos. Possuem uma desvantagem, que é o fato de serem sensíveis a efeitos ambientais, como chuva e ventos fortes, o que pode alterar os dados.

2.5.3 Fatores prioritários no controle de velocidade

A velocidade está relacionada tanto às questões de segurança quanto à eficiência de viagens, o que torna o seu gerenciamento importante (Srinivasan et al, 2006). Alguns trabalhos citam ainda o papel da velocidade nas questões ambientais. De acordo com Tsu et al (2004), a definição de limites de velocidade, bem como o seu controle, é uma das ferramentas mais utilizadas com esses objetivos. Desta forma, a implementação de controle de velocidade pode estar associado a alguns fatores prioritários, destacando-se:

- Controle de velocidade com foco na segurança viária;
- Controle de velocidade com foco no gerenciamento de tráfego;
- Controle de velocidade com foco em questões ambientais.
- A seguir serão apresentados cada um destes três focos na implementação de controle de velocidade em rodovias.

2.5.3.1 *Controle de velocidade com foco na segurança viária*

O sistema de gerenciamento de velocidade através da criação de zonas de controle de velocidade com foco na segurança viária busca fiscalizar os veículos através da velocidade média com que estes percorrem um determinado trecho de rodovia.

A utilização da velocidade média como parâmetro de fiscalização vem sendo amplamente difundida na Europa, em países como a Itália, Espanha, Reino Unido, Portugal, etc. Neste sistema são utilizados equipamentos que buscam identificar os veículos nas entradas e nas saídas de determinados trechos. Após esta etapa, a velocidade média desenvolvida é calculada através do tempo percorrido neste trecho (CET/SP, 2012).

Nos países pesquisados, o princípio de funcionamento de um sistema de controle da velocidade pela média no trecho” consiste nas seguintes etapas:

- Identificação do veículo na entrada e na saída do trecho;
- Cálculo da velocidade média desenvolvida, através da medição do tempo despendido no trecho;
- Aplicação de multa aos infratores, independentemente do ponto da via onde ocorreu o excesso de velocidade.
- As diferenças encontradas entre as aplicações consultadas referem-se apenas ao tipo de equipamento utilizado e aos tipos das vias fiscalizadas (rodovias, túneis, vias urbanas expressas ou áreas escolares em vias locais).

A fiscalização por controle da velocidade média em rodovias pode ser utilizada também em alguns trechos específicos, de curta distância, tais como áreas escolares, pontes e túneis. Em diversos países observou-se um incremento na segurança vária onde houve a implantação deste sistema (CET/SP, 2012). No capítulo 3, referente aos estudos e pesquisas sobre sistemas de controle de velocidade, serão apresentadas as experiências de outros países na implementação do sistema de controle de velocidade média.

2.5.3.2 Controle de velocidade com foco no gerenciamento de tráfego

Para a maioria das estradas, existe uma relação consistente entre a velocidade média e velocidade percentil 85. Caso contrário, isto indica que os motoristas têm dificuldade em decidir a velocidade apropriada para da rodovia, o que sugere que uma melhor adequação entre o projeto da rodovia e velocidade limite estabelecida. Algumas medidas adicionais podem ser utilizadas para reduzir a diferença entre a velocidade regulamentada e a V85 em uma rodovia (UK, 2012).

O controle de velocidade com foco no gerenciamento de tráfego está diretamente relacionado ao gerenciamento ativo de tráfego. De acordo com FHWA (2007), através do gerenciamento ativo de tráfego, pode-se administrar dinamicamente os congestionamentos, aumentando a eficiência das vias, buscar reduzir atrasos nas viagens. Tal sistema é operado através de tecnologias computacionais, buscando as melhores estratégias automaticamente, reduzindo assim o tempo em relação à operação humana e aumentando a segurança da rodovia.

Como benefícios do gerenciamento ativo de tráfego, pode-se citar o aumento da capacidade viária, velocidades mais uniformes, comportamento mais uniforme do condutor, maior confiabilidade no tempo de viagem, diminuição dos acidentes primários e secundários, etc. A diferença entre acidente primário e secundário é que o secundário ocorre em função das filas que se formam após a ocorrência de um primeiro acidente, fazendo com que o transtorno gerado demore mais para se dissipar (FHWA, 2000).

Dentre as técnicas utilizadas no gerenciamento ativo de tráfego (FHWA, 2000), destacam-se:

- Harmonização de velocidades;
- Uso temporário de acostamento;
- Alerta de formação de filas;
- Restrições dinâmicas de caminhões;
- Redirecionamento dinâmico e informação ao viajante.

A aplicação da tecnologia da informação aliada à telecomunicação e à eletrônica, nos aspectos operacionais dos transportes urbanos e rodoviários, tem se mostrado uma alternativa viável em termos de custo-eficácia, além de contribuir para a sustentabilidade do setor de transportes. A união dessas áreas é chamada de Sistemas de Transporte Inteligentes, internacionalmente conhecida como ITS (*Intelligent Transportation System*), onde tais sistemas representam as novas formas de pensar na fluidez do tráfego, buscando maior eficiência e segurança. Os sistemas ITS contam com um grande leque de aplicações que vão desde sistemas de informações aos usuários, passando por gerenciamento de rodovias, até o desenvolvimento de veículos e vias inteligentes.

A harmonização de velocidades é uma das técnicas mais utilizadas no gerenciamento ativo de tráfego, tendo como benefício as velocidades mais uniformes entre os veículos, aumento da confiabilidade no tempo da viagem, redução de ruído de tráfego, além de redução no consumo de combustível. A técnica de harmonização de velocidades é implementada na rodovia através de medidas de apoio, tais como os Painéis de Mensagens Variáveis – PMV. Tais equipamentos são painéis eletrônicos que transmitem aos usuários da rodovia avisos sobre anormalidades encontradas adiante, tais como acidentes, bem como comunicar aos usuários os limites de velocidade em vigor na rodovia.

De acordo Brinckerhoff et al (2008), a Alemanha iniciou o conceito de harmonização de velocidades em 1970, com o intuito de melhorar o fluxo de tráfego, prioritariamente em rodovias com alto volume de tráfego. Na Dinamarca, a harmonização da velocidade vem sendo utilizada para gerenciar o congestionamento durante o período de construção de rodovias. Na Holanda, tal conceito tem sido adotado desde 1981, com a utilização em condições meteorológicas desfavoráveis (névoa, por exemplo), bem como para criar trechos com velocidades mais uniformes, no caso de acidentes, manutenção e construção de rodovias.

Os limites de velocidade variáveis, do inglês *Variable Speed Limits* – *VSL*, são os limites de velocidade que mudam com base nas condições da estrada, do tráfego e nas condições meteorológicas. Os benefícios do uso de limites de velocidade variável em uma rodovia incluem a redução dos congestionamentos, atrasos nos tempos de viagem e harmonização do fluxo de tráfego. Tal implementação reduz a ocorrência e gravidade dos acidentes, além de reduzir a probabilidade de acidentes secundários, através da redução da velocidade dos veículos que se aproximam de um incidente ou congestionamento.

De acordo com *Georgia Department of Transportation* – *GDOT* (2014), os equipamentos *VSL* alertam os motoristas em tempo real sobre mudanças de velocidade devido às condições da estrada. Velocidades mais consistentes melhoram a segurança da rodovia, ajudando a prevenir colisões traseiras devido a paradas súbitas. A capacidade de alterar remotamente o limite de velocidade no corredor não se destina a criar armadilhas em relação aos limites de velocidade. Em vez disso, os limites de velocidade variáveis são projetados para criar viagens mais seguras, prevenindo acidentes e condições de congestionamento.

A implementação de limites de velocidade variáveis no estado da Georgia permite reduzir eletronicamente o limite de velocidade em intervalos de 10 mph, podendo variar de 65 mph para um mínimo de 35 mph em caso de acidentes. O Centro de Controle Operacional do *GDOT* faz o monitoramento da rodovia e quando necessário, para fins de segurança, são realizados ajustes em tempo real por meio de um software de gerenciamento de tráfego ativo no intuito de reduzir o limite de velocidade na rodovia.

Brinckerhoff et al (2008) exemplificam o funcionamento de um sistema de velocidades variáveis na prática, sendo que os painéis de mensagem variável ficam “desligados” durante o tempo em que as condições da rodovia encontram-se em estado normal, em fluxo livre.

Assim que as velocidades diminuïrem a um limite mïnimo, os painéis sãõ ativados pelo sistema e passam a exibir velocidades gradualmente reduzidas até se igualarem a velocidade do fluxo mais lento, como apresenta a Figura 34.

Figura 34 - Harmoniza õ de velocidades com o uso de painel de mensagem variável



Fonte: Brinckerhoff et al (2008)

Segundo Brinckerhoff et al (2008), mais recentemente, a harmoniza õ de velocidades tem sido implementada para reduzir a velocidade em áreas densamente povoadas, bem como em áreas ambientalmente sensíveis, no intuito de reduzir a emissãõ de poluentes.

O principal impacto da harmoniza õ de velocidade ou sistemas de limite de velocidade variável (VSL) na redu õ dos congestionamentos   através de retardar o aparecimento de congestionamento e alisando os fluxos de tráfego. Além disso, esses sistemas sãõ benéficas a eliminar as diferenças de velocidade perigosas e, posteriormente, alisando as velocidades dos veículos através de pontos de estrangulamento. A harmoniza õ de velocidade nãõ funciona bem após formas de congestionamento pesado, mas proporciona alívio antes deste estado ser atingido e retarda a sua ocorrência (Brinckerhoff et al, 2008).

De acordo com um estudo desenvolvido pela University Transportation Center for Alabama – UTCA (Sisiopiku et al, 2009), os Estados Unidos devem implementar a harmonização de velocidade nas autoestradas como uma estratégia para gerenciar ativamente a sua malha viária e retardar o aparecimento de congestionamento. O sistema deve incluir os seguintes elementos:

- Implantação de sensores suficientes para monitoramento do tráfego e das condições climáticas;
- Instalação adequada de sinalização por meio de pórticos, para garantir que pelo menos um sinal de limite de velocidade seja visto em todos os momentos;
- Instalação de placas de limite de velocidade sobre cada faixa de rodagem;
- Desenvolvimento de sistema especialista para aplicação da estratégia baseada em condições viárias prevalentes, sem a necessidade de intervenção do operador. É fundamental que este sistema seja confiável e preciso para ganhar a confiança e aceitação do público;
- Conexão com um centro de gestão do tráfego, que serve como o ponto de gerenciamento do sistema;
- Processo para permitir que as leis e legislação relacionadas permitam limites de velocidade dinâmicos;
- Câmaras ligadas a um circuito fechado de televisão para apoiar o acompanhamento do sistema;
- Painéis de mensagem variável para fornecer informações ao viajante e sinalização vertical de regulamentação quando necessário;
- O cumprimento da velocidade automatizada para impedir violações.

Sisiopiku et al (2009) apresentaram ainda uma revisão de alguns estudos de caso onde foram implementados os limites de velocidade variável, como mostra a Tabela 11.

Tabela 11 - Alguns exemplos dos benefícios do uso de limites de velocidade variável

Instituição/país responsável pelo estudo	Benefícios
Alemanha	Dissipação dos congestionamentos

Instituição/país responsável pelo estudo	Benefícios
Departamento de Transportes de Delaware	Redução da poluição nos dias de alerta de ozônio e redução da velocidade em condições atmosféricas adversas e trechos em obras
Holanda	Redução do tempo de viagem
Universidade de	Redução de filas
Universidade de Virginia	Redução na variação das velocidades entre veículos
Universidade de Waterloo	Redução do risco para a ocorrência de acidentes

Fonte: Adaptado de Sisiopiku et al. (2009)

A Tabela 12 apresenta os limites de velocidade estabelecidos nos países onde há a harmonização de velocidade.

Tabela 12 - Variação dos limites de velocidade em países com harmonização de velocidade

País	Velocidade limite da via	1° redução de velocidade	2° redução de velocidade	3° redução de velocidade
Alemanha	120 km/h (75 mph)	100 km/h (62 mph)	80 km/h (50 mph)	60 km/h (37 mph)

Continuação Tabela 12

País	Velocidade limite da via	1° redução de velocidade	2° redução de velocidade	3° redução de velocidade
Estados Unidos	70 mph (112 km/h)	60 mph (96 km/h)	50 mph (80 km/h)	40 mph (64 km/h)
	65 mph (105 km/h)	55 mph (88 km/h)	45 mph (72 km/h)	35 mph (56 km/h)
Grécia	120 km/h (75 mph)	110 km/h (68 mph)	100 km/h (62 mph)	90/80/70 km/h (56/50/43 mph)
Holanda	120 km/h (75 mph)	90 km/h (56 mph)	70 km/h (43 mph)	50 km/h (31 mph)
Inglaterra	70 mph (112 km/h)	60 mph (96 km/h)	50 mph (80 km/h)	40 mph (64 km/h)

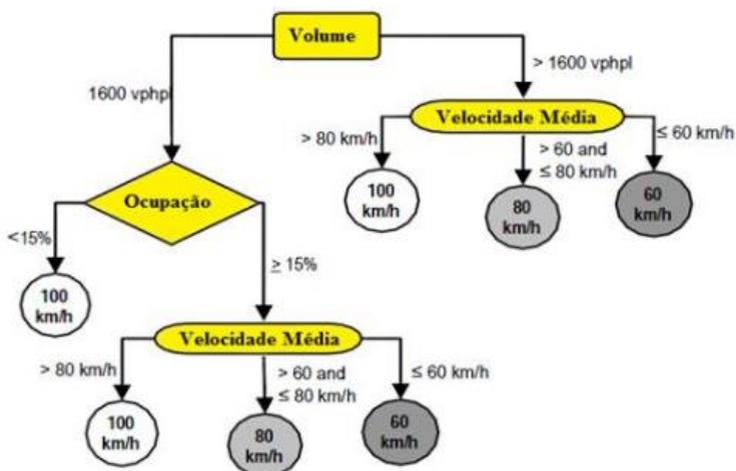
Fonte: Adaptado de Sisiopiku et al. (2009)

Nota-se que a Tabela 12 apresenta os valores limites de velocidade da via em condições normais e outras três velocidades, com o objetivo de ir informando ao motorista a redução gradativa da velocidade.

Os limites de velocidade podem ser reduzidos quando as condições da via são inadequadas para trafegar em velocidades mais elevadas, tais como durante mau tempo, quando houver um incidente ou congestionamento em segmentos específicos, com o objetivo de reduzir a probabilidade de ocorrência de novos acidentes e facilitar uma maior fluidez do tráfego (Sisiopiko et al., 2009). Além disso, segundo Chang et al. (2011), a harmonização de velocidades pode contribuir para o aumento da capacidade da via.

As estratégias de controle utilizadas para determinar os limites de velocidade na operação da harmonização da velocidade em uma rodovia são fundamentais para o sucesso do sistema. Tais estratégias são aplicadas através de um algoritmo que determina indicadores e limites que acionam a harmonização da velocidade. Através de informações provenientes de detectores é possível fazer o controle das estratégias em tempo real, otimizando o processo (Nezamuddin et al., 2011). A Figura 35 apresenta um algoritmo que ilustra o uso das estratégias de controle frequentemente utilizadas na Europa e na América do Norte (Allaby et al., 2007).

Figura 35 - Algoritmo de controle de harmonização de velocidade



Fonte: Caleffi, 2013

Conforme a Figura 35, o limite de velocidade da via é 100 km/h. Quando o algoritmo de controle detecta um volume maior do que 1600 veículos por hora por faixa, ele passa a monitorar a velocidade média dos veículos. Caso esta velocidade esteja menor do que 80 km/h, a harmonização da velocidade passa a ser empregada. Do mesmo modo, se o volume for menor que 1600 veículos por hora por faixa, porém como a ocupação da faixa maior que 15%, o algoritmo de controle passa a monitorar a velocidade média a fim de definir se é necessário o uso da harmonização da velocidade (Caleffi, 2013).

O gerenciamento ativo de tráfego consegue, simultaneamente, abordar questões de mobilidade, capacidade e segurança. Porém, há

necessidade de adequar estas novas estratégias com as já existentes, de forma a garantir a operacionalidade do sistema.

2.5.3.3 *Controle de velocidade com foco em questões ambientais*

A consciência da escala global das emissões de gases de efeito estufa (dióxido de carbono CO_2 , metano CH_4 , clorofluorcarbonos CFC e óxido nitroso N_2O) tem aumentado nos últimos anos. CO_2 e vapor de água são os principais elementos emitidos por veículos automotores, após a combustão de combustíveis à base de petróleo (gasolina, óleo diesel, gás natural, etc.). CO_2 representa mais do que 99%, em massa, de todos os componentes gasosos de escape (CO_2 , CO , HC , NO_x , etc.). Grande parte do monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) é oxidado a CO_2 e H_2O . Isto explica por que o CO_2 é considerada a forma predominante de poluição emitida pelos motores à combustão (OECD, 2002).

As emissões de óxido de nitrogênio provenientes de veículos produz uma variedade de efeitos adversos à saúde e meio ambiente. Uma vez na atmosfera, as emissões de NO_x reage quimicamente com outros poluentes, para formar ozônio troposférico (o componente principal do nevoeiro fotoquímico) e outros poluentes tóxicos. O dióxido de nitrogênio pode irritar os pulmões e diminuir a resistência à infecção respiratória. As emissões de NO_x são um importante precursor para a chuva ácida que pode afetar ecossistemas terrestres e aquáticos. O dióxido de nitrogênio e nitrato transportado por via aérea também contribuem para a névoa de poluentes, o que prejudica visibilidade (OECD, 2002).

As contribuições mais importantes para as emissões mundiais de NO_x são veículos pesados e ônibus, responsáveis por metade das emissões mundiais de NO_x relativos a veículos a motor, apesar de representarem um pequena parte (cerca de 5%) da frota mundial de veículos.

Uma das medidas para diminuir a concentração de NO_2 perto de autoestradas é reduzir o limite de velocidade de 120 ou 100 para 80 km / h. O seu efeito é bem conhecido na Holanda, por meio de um estudo iniciado em 2002, introduzido na autoestrada A13, considerada uma das mais congestionadas na rede rodoviária, com volume médio diário de mais de 150 mil veículos. Tal rodovia passa por aproximadamente 50 metros de uma área residencial, incluindo uma escola. O volume de tráfego e congestionamentos em horários de pico geraram níveis de ruído e qualidade do ar acima dos limites estabelecidos pelos padrões nacionais e da União Europeia (Kroon, 2004).

Os estudos de avaliação mostraram que a redução do limite de velocidade resultou em uma diminuição significativa das emissões de NO_x e, com isso, embora em menor grau, houve uma diminuição nas concentrações de NO_2 . A redução dos limites de velocidade também gerou um fluxo de tráfego mais homogêneo na rodovia analisada, e estes dois fatores em conjunto resultaram em uma diminuição da poluição do ar e do nível de ruído. Além disto, as medidas resultaram em um maior grau de segurança viária (Olde et al, 2005).

Outro estudo desenvolvido na Holanda (Rijkeboer et al, 2003) sugeriu que:

- Congestionamentos de veículos resultam em elevadas emissões veiculares por quilômetro;
- Condução em alta velocidade aumenta o consumo de combustível e as emissões veiculares;
- A capacidade de um veículo manter uma velocidade média é dependente não só nos métodos de controle de velocidade, mas também de recursos de gerenciamento de tráfego, tais como travessias de pedestres e cruzamentos sinalizados;
- Veículos pesados contribuem com 50% do total de emissões no estudo, apesar de representar cerca de 10% da composição do tráfego. Desta forma, as autoridades holandesas consideram velocidades baixas constantes e reduções no volume de tráfego veículos pesados como sendo uma de suas prioridades na redução de emissões de gases nas rodovias.

De acordo com Kroon (2004), o Ministério dos Transportes da Holanda inicialmente resistiu ao regime e só aderiu depois de fortes protestos por parte da câmara municipal de Roterdan e os membros constituintes locais do Parlamento. Não havia, aparentemente, nenhuma resistência por parte de usuários de automóveis ou empresas de transporte de mercadorias e, em geral, a imprensa noticiou um forte sentimento entre a população que devem ser tomadas medidas para melhorar a qualidade ambiental, já que a escola localizada junto à rodovia precisou ser fechada devido aos elevados níveis de poluentes. Este estudo mostrou as potenciais sinergias entre a qualidade do ar e a política de transportes.

Uma série de políticas foram implementadas no mundo como parte da ampla adoção dos Sistemas de Transporte Inteligentes – ITS para suavizar o fluxo de tráfego e reduzir os congestionamentos. Muitas cidades nos Estados Unidos adotaram sincronização e controle de sinal

de tráfego como forma de reduzir o efeito “para e anda”, que tende a aumentar as emissões de CO₂. Tais efeitos foram avaliados com simulação que utiliza o tempo de viagem, o número de paradas e as análises em laboratórios para avaliar o consumo de combustível e, conseqüentemente, a emissão de gases.

2.6 ASPECTOS LEGAIS PARA A IMPLANTAÇÃO DE MEDIDORES ELETRÔNICOS DE VELOCIDADE

Este item trata da legislação brasileira sobre velocidade e fiscalização eletrônica de velocidade. Será apresentado o Código de Trânsito Brasileiro, com enfoque no tema velocidade, bem como as resoluções do Contan e as competências dos órgãos rodoviários no controle da velocidade.

2.6.1 Código de Trânsito Brasileiro – CTB

Um dos principais avanços relacionados à melhoria da segurança viária no país é, sem dúvida, o aprimoramento da legislação através do Código de Trânsito Brasileiro - CTB, especificamente em relação à fiscalização. O Código de Trânsito Brasileiro foi instituído pela Lei nº 9503 de 23 de setembro de 1997 e está em vigor desde 22 de janeiro de 1998.

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB, 2008) define o termo fiscalização em seu Anexo I – Dos Conceitos e Definições, da seguinte forma:

“Ato de controlar o cumprimento das normas estabelecidas na legislação de trânsito, por meio do poder de polícia administrativa de trânsito, no âmbito de circunscrição dos órgãos e entidades executivos de trânsito e de acordo com as competências definidas neste Código” (CTB, 2008).

O artigo 61 do Código de Trânsito Brasileiro define que:

A velocidade máxima permitida para a via será indicada por meio de sinalização, obedecidas suas características técnicas e as condições de trânsito.

§ 1 Onde não existir sinalização regulamentadora, a velocidade máxima será de:

I - nas vias urbanas:

- a) oitenta quilômetros por hora, nas vias de trânsito rápido;
- b) sessenta quilômetros por hora, nas vias arteriais;
- c) quarenta quilômetros por hora, nas vias coletoras;
- d) trinta quilômetros por hora, nas vias locais;

II - nas vias rurais:

- a) nas rodovias:
 - 1) 110 (cento e dez) quilômetros por hora para automóveis, camionetas e motocicletas (Redação dada pela Lei nº 10.830, de 2003);
 - 2) noventa quilômetros por hora, para ônibus e micro-ônibus;
 - 3) oitenta quilômetros por hora, para os demais veículos;
- b) nas estradas, sessenta quilômetros por hora.

§ 2 O órgão ou entidade de trânsito ou rodoviário com circunscrição sobre a via poderá regulamentar, por meio de sinalização, velocidades superiores ou inferiores àquelas estabelecidas no parágrafo anterior.

Dos 341 artigos que compõem o CTB, 95 estão no capítulo dedicado às infrações de trânsito. Deste total, três artigos são relativos às infrações cometidas devido à velocidade dos veículos, sendo eles os artigos 218, 219 e 220 (CTB, 2008).

No dia 26/07/06, foi publicada no Diário Oficial da União a Lei nº 11.334/06, que alterou o artigo 218 da Lei nº 9.503/1997 (Código de Trânsito Brasileiro), estabelecendo novos critérios para a fiscalização de velocidade nas vias públicas.

Com a Lei nº 11.334/06, o artigo 218 do CTB passou a ter a seguinte redação:

Art. 218. Transitar em velocidade superior à máxima permitida para o local, medida por instrumento ou equipamento hábil, em rodovias, vias de trânsito rápido, vias arteriais e demais vias:

I – quando a velocidade for superior à máxima em até 20% (vinte por cento):

Infração – média;

Penalidade – multa;

II – quando a velocidade for superior à máxima em mais de 20% (vinte por cento) até 50% (cinquenta por cento):

Infração – grave;

Penalidade – multa;

III – quando a velocidade for superior à máxima em mais de 50% (cinquenta por cento):

Infração – gravíssima;

Penalidade – multa [3 (três) vezes], suspensão imediata do direito de dirigir e apreensão do documento de habilitação.

O artigo 219 trata da velocidade mínima permitida para as vias:

Art. 219. Transitar com o veículo em velocidade inferior à metade da velocidade máxima estabelecida para a via, retardando ou obstruindo o trânsito, a menos que as condições de tráfego e meteorológicas não o permitam, salvo se estiver na faixa da direita:

Infração - média;

Penalidade - multa.

O artigo 220 do CTB caracteriza como infração deixar de reduzir a velocidade de forma compatível com a segurança em determinadas situações:

Art. 220. Deixar de reduzir a velocidade do veículo de forma compatível com a segurança do trânsito:

I - quando se aproximar de passeatas, aglomerações, cortejos, préstitos e desfiles:

Infração - gravíssima;

Penalidade - multa;

II - nos locais onde o trânsito esteja sendo controlado pelo agente da autoridade de trânsito, mediante sinais sonoros ou gestos;

III - ao aproximar-se da guia da calçada (meio-fio) ou acostamento;

IV - ao aproximar-se de ou passar por interseção não sinalizada;

V - nas vias rurais cuja faixa de domínio não esteja cercada;

VI - nos trechos em curva de pequeno raio;

VII - ao aproximar-se de locais sinalizados com advertência de obras ou trabalhadores na pista;

VIII - sob chuva, neblina, cerração ou ventos fortes;

IX - quando houver má visibilidade;

X - quando o pavimento se apresentar escorregadio, defeituoso ou avariado;

XI - à aproximação de animais na pista;

XII - em declive;

XIII - ao ultrapassar ciclista;

Infração - grave;

Penalidade - multa;

XIV - nas proximidades de escolas, hospitais, estações de embarque e desembarque de passageiros ou onde haja intensa movimentação de pedestres:

Infração - gravíssima;

Penalidade - multa.

Apesar dos equipamentos medidores de velocidade terem a capacidade para registrar a infração prevista no art. 219, este tipo de infração não é fiscalizada pelos equipamentos instalados no país. A infração descrita no art. 220 é subjetiva quando se refere a reduzir a velocidade, uma vez que não estabelece a qual limite a velocidade deve ser reduzida. Desta maneira, a fiscalização eletrônica não seria possível de ser aplicada sem a devida sinalização. Além disto, essa infração é cometida em situações eventuais, não programáveis ou não claramente especificadas (Caleia, 2007).

O artigo 91 do Código de Trânsito Brasileiro define que:

“CONTRAN estabelecerá as normas e regulamentos a serem adotados em todo o território nacional quando da implementação das soluções adotadas pela Engenharia de Tráfego, assim como padrões a serem praticados por todos os órgãos e entidades do Sistema Nacional de Trânsito” (CTB, 2008).

Desta forma, a seguir será apresentada a seguir a Resolução do CONTRAN em vigor, referente à fiscalização de velocidade.

2.6.2 Resoluções do CONTRAN

A resolução do CONTRAN nº 785, de 26 de setembro de 1994, foi a primeira a se referir à fiscalização eletrônica de velocidade, autorizando o uso de sistemas eletrônicos para o controle ou registro de cometimentos de infrações de trânsito, através de equipamentos fotográficos, eletrônicos ou foto-eletrônicos.

No ano seguinte, a resolução nº 795 define barreira eletrônica como “a estação ou o conjunto de estações com a finalidade de exercer o controle e a fiscalização do trânsito em vias públicas, por meio de equipamentos mecânicos, elétricos e eletrônicos”, estabelece regras básicas para a sua homologação e instalação nas vias públicas, revogando a resolução nº 785.

Ainda em 1995, foi publicada a resolução nº 796 estabelecendo os requisitos de uma barreira eletrônica, sendo revogada pela resolução nº 801, que institui os requisitos técnicos necessários a uma barreira eletrônica.

Sendo assim, quando o CTB entrou em vigor, havia duas resoluções válidas sobre fiscalização eletrônica de velocidade com medidores fixos: a resolução n.º 795, de 16 de maio de 1995, e a resolução nº 801, de 06 de junho de 1995. As duas vigoraram até dezembro de 2001, quando foram revogadas pelas resoluções nº 131 e nº 141 (Caldeia, 2007).

A resolução nº 131 apresentava os requisitos técnicos mínimos para fiscalização da velocidade de veículos automotores, elétricos, reboques e semi-reboques, porém foi declarada nula pela Resolução nº 140, de 19 de maio de 2002.

Já a resolução nº 141, de 03 de outubro de 2002, que dispunha sobre o uso, a localização, a instalação e a operação do aparelho, de equipamento ou qualquer outro meio tecnológico para auxiliar na gestão de trânsito, foi revogada pela resolução nº 146, de 27 de agosto de 2003. A resolução nº 146, por sua vez, que apresentava os requisitos técnicos mínimos para a fiscalização de velocidades, foi revogada pela resolução 396, de 13 de dezembro de 2011.

Desde 16 de janeiro de 2012 está em vigor a Resolução do CONTRAN 396/2011 (Anexo A), que dispõe sobre requisitos técnicos mínimos para fiscalização da velocidade de veículos automotores. Tal resolução apresenta critérios para implantação de equipamentos eletrônicos medidores de velocidade.

Após a publicação da Resolução CONTRAN 396/2011, apenas para os radares fixos e lombadas eletrônicas é obrigatório o estudo técnico, já para os equipamentos estáticos e portáteis não é mais obrigatório, podendo operar em qualquer ponto da rodovia. Este estudo técnico inclui a localização prévia do equipamento, as características do local, incluindo número de pistas, número de faixas no sentido a ser fiscalizado, geometria, uso o solo, Volume Médio Diário - VMD, se há fluxo de pedestres e ciclistas.

Quanto ao estudo de velocidade, devem ser mencionadas a velocidade regulamentada e a velocidade praticada (V85). Quanto ao estudo de acidentes, este deve considerar um trecho de 500 metros antes e depois do ponto de instalação do equipamento, em um período de até 12 meses, podendo ser de 6 meses. Além disso, devem ser descritos o potencial de risco do local, com a descrição dos fatores de risco, histórico das medidas de engenharia adotadas antes da instalação do equipamento, além de outras informações julgadas necessárias.

O artigo 6º da Resolução 396 (CONTRAN, 2011), estabelece que a fiscalização de velocidade deve ocorrer em trechos com sinalização de regulamentação de velocidade máxima permitida (placa R-19), obedecendo as disposições do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume I.

Para a fiscalização de velocidade com medidor do tipo fixo, estático ou portátil deve ser observada, entre a placa R-19 e o medidor, uma distância compreendida no intervalo estabelecido na Tabela 13, facultada a repetição da placa em distâncias menores, não sendo mais obrigatória a informação de "fiscalização eletrônica".

Tabela 13 - Distância entre a placa R-19 e o equipamento

Velocidade Regulamentada (km/h)	Intervalo de Distância (metros)	
	Via Urbana	Via Rural
$V \geq 80$	400 a 500	1.000 a 2.000
$V < 80$	100 a 300	300 a 1.000

Fonte: Contran (2011)

Além do estudo técnico para implantação dos equipamentos medidores de velocidade (item A do Anexo I da Resolução 396 do CONTRAN), também é previsto o estudo técnico para o monitoramento da eficácia dos equipamentos medidores de velocidade (item B do Anexo I da Resolução 396 do CONTRAN).

O estudo técnico para monitoramento da eficácia inclui a verificação da velocidade no trecho antes e após a instalação dos equipamentos de fiscalização. Além disso, deve ser verificado o número de acidentes ocorridos 500 metros antes e depois do local de fiscalização. Cabe salientar que o estudo técnico mencionado na resolução prevê a análise dos acidentes somente 6 meses antes e 6 meses depois do início da operação dos equipamentos, não considerando as sazonalidades de tráfego ocorridas durante um ano. Além disso, o estudo prevê a análise dos acidentes após o início de operação dos equipamentos, que pode ocorrer meses depois da sua instalação. Esta situação pode alterar o comportamento dos motoristas em relação à velocidade e mascarar a eficiência ou não do controle de velocidade.

2.6.3 Competência dos órgãos rodoviários no controle da velocidade

No Brasil, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT e a Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, ambas entidades autárquicas vinculadas ao Ministério dos Transportes – MT, são responsáveis pela elaboração e/ou aprovação de projetos rodoviários em rodovias federais. De acordo com a Lei nº 10.223/2001 (Brasil, 2001), compete ao DNIT exercer as atribuições elencadas no artigo 21 da Lei 11.334/2006 (Brasil, 2006), que instituiu o Código de Trânsito Brasileiro. O artigo 21 estabelece de uma única vez, as competências dos órgãos rodoviários das três esferas de governo: União, Estados e Municípios, fazendo distinção apenas quanto à circunscrição, ou seja, área de atuação territorial.

Cabe também ao DNIT a missão de promover a mobilidade dos usuários através de rodovias federais mais seguras e bem mantidas, conforme disposto nos incisos I a VII do artigo 89:

I – coordenar e elaborar projetos e programas de operações rodoviárias, operações especiais nas vias;

II – controlar a implantação, distribuição, utilização e manutenção dos equipamentos destinados à operação do trânsito e controle de velocidade;

III – promover estudos de análise de capacidade das vias propondo adequação aos níveis de serviço desejáveis à sua operação;

IV – analisar, diagnosticar e propor melhorias para eliminação de pontos críticos nas rodovias federais;

V – coordenar e controlar a execução de projetos e serviços de sinalização vertical e horizontal nas rodovias federais;

VI – controlar o peso e a ocupação de faixa de domínio das rodovias federais;

VII – fiscalizar, programar, coordenar e orientar as atividades de controle de tráfego e educação de trânsito nas rodovias federais.

À ANTT cabe a responsabilidade pela exploração da infraestrutura federal, por meio das concessões de rodovias federais, conforme define o artigo 22 da Lei 10.233/2001 (Brasil, 2001). Sendo assim, a ANTT aprova os projetos de segurança viária apresentados pelas concessionárias, e que serão aplicados nas rodovias concedidas.

Além das competências do DNIT e ANTT, a Controladoria-Geral da União – CGU e o Tribunal de Contas da União – TCU são os órgãos federais responsáveis por realizar fiscalizações e auditorias em obras rodoviárias, custeadas com recursos públicos federais. Estas atividades têm como objetivo a verificação das disposições legais e regulamentares aplicadas. O TCU e CGU também examinam as áreas de atuação do DNIT e ANTT consideradas críticas, tais como a implantação, utilização e manutenção dos equipamentos de controle de velocidade, visando melhorar a qualidade e segurança das rodovias federais.

No caso das rodovias estaduais, compete aos órgãos e entidades executivos rodoviários estaduais atuar de acordo com o estabelecido no

artigo 21 do CTB (Brasil, 2006). Esses órgãos, geralmente denominados DER – Departamento de Estradas de Rodagem, são, portanto, os responsáveis pela promoção da segurança dos usuários, sendo os responsáveis pelo gerenciamento dos controladores de velocidade em rodovias estaduais.

3 PESQUISA E PRÁTICA DOS SISTEMAS DE CONTROLE DE VELOCIDADE

A principal meta do controle de velocidade constitui-se da redução do número e da gravidade dos acidentes de trânsito. Desta forma, é preciso avaliar de forma periódica os resultados obtidos com o uso destes equipamentos a fim de divulgá-los, como forma de fazer com que todos percebam os efeitos benéficos desta fiscalização, e cada vez mais respeitem os limites de velocidade.

Aguilera et al (2014), após analisarem estudos que descrevem os efeitos das intervenções de segurança viária nas lesões causadas pelo trânsito, concluíram que a fiscalização tem o efeito de reduzir o número de infrações por beber e dirigir, por exemplo, com o aumento do número de operações policiais. Além disso, a efetividade das legislações de trânsito depende de uma fiscalização eficiente, acompanhada de abordagens informativas e/ou educativas, principalmente nos primeiros meses de sua aplicação. O estudo ainda concluiu que os condutores mudam de comportamento somente quando percebem que estão sendo monitorados pela autoridade pública ou monitorados socialmente.

A seguir serão apresentadas as pesquisas e práticas relacionadas a sistemas de controle de velocidade no mundo, bem como pesquisas que vêm sendo realizadas no Brasil.

3.1 PESQUISAS E PRÁTICAS SOBRE SISTEMAS DE CONTROLE DE VELOCIDADE NO MUNDO

No intuito de reduzir o número e a gravidade dos acidentes de trânsito, diversos países têm utilizado equipamentos de monitoramento eletrônico em ruas e estradas para auxiliar o controle de velocidade. Portanto, é preciso, constantemente, avaliar se os resultados estão sendo alcançados e divulgá-los, como forma de fazer com que todos percebam os efeitos benéficos desta fiscalização, e cada vez mais respeitem os limites de velocidade (Lopes, 2010).

Em inúmeros países e no Brasil, diversos autores se propuseram a realizar, através de diferentes metodologias, estudos e trabalhos que avaliassem os efeitos do controle de velocidade na segurança viária. Em comum, os estudos apontam, em geral, reduções significativas nos parâmetros relacionados a acidentes e mortes no trânsito.

A seguir, serão apresentados alguns resultados alcançados por diversos países com o uso de controladores de velocidade.

3.1.1 Estados Unidos

Apesar do primeiro sistema automatizado de controle da velocidade ter sido aplicado nos Estados Unidos em 1910, a aplicação desse sistema não foi usada por agências de transporte até 1987, quando a aplicação de um foto-radar foi executada pela primeira vez no Arizona. De acordo com o FHWA (2014), a utilização de sistemas de controle de velocidade automatizada ainda não é comum, sendo utilizado em apenas 11 estados e no Distrito de Columbia. A maioria dos estados usa atualmente métodos de controle da velocidade convencionais, onde os policiais que patrulham as rodovias são diretamente responsáveis pelo controle da velocidade.

Controlar a velocidade é uma das principais abordagens disponíveis para os órgãos gestores do trânsito para reduzir as taxas de acidentes e aumentar a segurança nos Estados Unidos. Em um estudo realizado no Arizona, os autores avaliaram os dados de velocidade na área de monitoramento e dados de velocidade de 40 km antes do trecho de monitoramento. Os resultados mostraram uma redução estatisticamente significativa na velocidade média, variação de velocidade e no número total de acidentes. Levantou-se também uma importante questão de saber se a diminuição das taxas de acidente foi por causa da diminuição da velocidade média e da variância de velocidade ou se pode ser atribuído a um aumento na conscientização dos motoristas por causa da implementação de um sistema de controle de velocidade (Shin et al, 2009).

3.1.2 Holanda

Goldenbeld e Schagen (2005) realizaram um estudo antes e depois sobre os efeitos de radares portáteis sobre o comportamento do tráfego. O foco do estudo foi investigar os efeitos da fiscalização da velocidade com radares em estradas rurais em uma localidade da Holanda. Para a análise foram utilizados dados de um período de 4 anos depois do início da fiscalização (de 1998 a 2002) e dados de um ano antes. Para aumentar a eficiência do sistema de controle de velocidade, o desempenho do mesmo foi revisto a cada 5 ou 6 semanas para ajustar a metodologia de fiscalização. Os resultados mostraram que a velocidade média, o número

de infratores e o número de acidentes de trânsito diminuíram após o início da fiscalização da velocidade na rodovia.

3.1.3 Alemanha

As rodovias alemãs, conhecidas como Autobahns, não estão sujeitas a um limite de velocidade nacional, embora 30% possuam limites de velocidade locais. Em 1972, num determinado trecho com altos índices de acidentes, foi introduzido um limite de velocidade de 100 km/h, causando uma redução imediata de 30 km/h na velocidade média do tráfego. No ano seguinte, com a introdução da fiscalização eletrônica da velocidade, foi observada nova queda, de 20 km/h, na velocidade média. Estas medidas reduziram em 91% o número de acidentes no local (Lopes, 2010).

3.1.4 Austrália

O excesso de velocidade é considerado um fator que contribui para aproximadamente 51% de todos os acidentes fatais envolvendo motocicletas e 83% dos acidentes fatais envolvendo um único veículo (RTA, 2005a).

Um conjunto de critérios foi desenvolvido pela Roads and Traffic Authority (RTA, 2005b), em consulta com a polícia, para a seleção de locais de radares digitais fixos. Os critérios para avaliação das taxas de acidentes e velocidades praticadas incluem um trecho da estrada entre um e 3,3 km onde a câmera se destina a reduzir excesso de velocidade e acidentes.

A análise acidente envolve uma revisão das taxas de acidentes que ocorrem ao longo de um trecho da estrada em relação ao volume de tráfego, a gravidade dos acidentes e a velocidade praticada pelos motoristas.

Os acidentes são comparados com taxas pré-determinadas para três categorias de tipo de estrada: rural, urbano e autoestrada. Se os dados da pesquisa demonstrarem que a velocidade dos veículos excedem os limites de critérios, as investigações são conduzidas para as necessidades do local de instalação do equipamento, incluindo características do local, necessidade de barreira de segurança, requisitos de energia e disponibilidade de telecomunicação. Antes da escolha dos pontos de equipamentos de controle de velocidade, uma investigação inicial é

realizada em cada um dos locais estudados. A investigação procura identificar potenciais tratamentos, como uma alternativa para o uso de radares fixos digitais que iria melhorar a segurança em cada um dos sites. Se nenhum tratamento alternativo viável é identificado, no local é então instalado um equipamento de controle de velocidade fixo. Após a definição do local pelo órgão de trânsito responsável, neste caso, a *Roads and Traffic Authority* – RTA, o local proposto e todos os detalhes relevantes são encaminhados à polícia para aprovação formal do local de controle.

A efetividade do sistema é avaliada tanto no local de instalação dos equipamentos de controle de velocidade, bem como no trecho anterior e posterior do mesmo, em termos de:

- Mudança de comportamento do motorista em relação à velocidade estabelecida no trecho;
- Mudança da incidência e severidade dos acidentes e verificação da relação dos acidentes com a velocidade;
- O valor econômico para a sociedade;
- Atitudes da comunidade, conhecimentos, crenças e comportamentos relatados em relação ao Programa e as mudanças ocorridas.

Esta avaliação revelou que após a instalação de 28 radares fixos em vários locais de Nova Gales do Sul, foram alcançadas reduções significativas nas velocidades do veículo e nas taxas de excesso de velocidade e acidentes. Estas reduções chegaram a 20% em colisões com feridos e em torno de 90% em acidentes fatais (RTA, 2005b).

3.1.5 Itália

O desenvolvimento de um sistema de controle de velocidade através da velocidade média dos veículos nas autoestradas da Itália teve início em 2004. O Ministério de Infraestrutura e Transportes do referido país, juntamente com a Polícia Rodoviária, definiram em conjunto um sistema operacional específico para o controle de velocidade nas autoestradas, sendo que após um ano de experimentação, este passou por aprovação formal e, então, o sistema começou a ser utilizado para fiscalização (Autostrade per l'Italia, 2013).

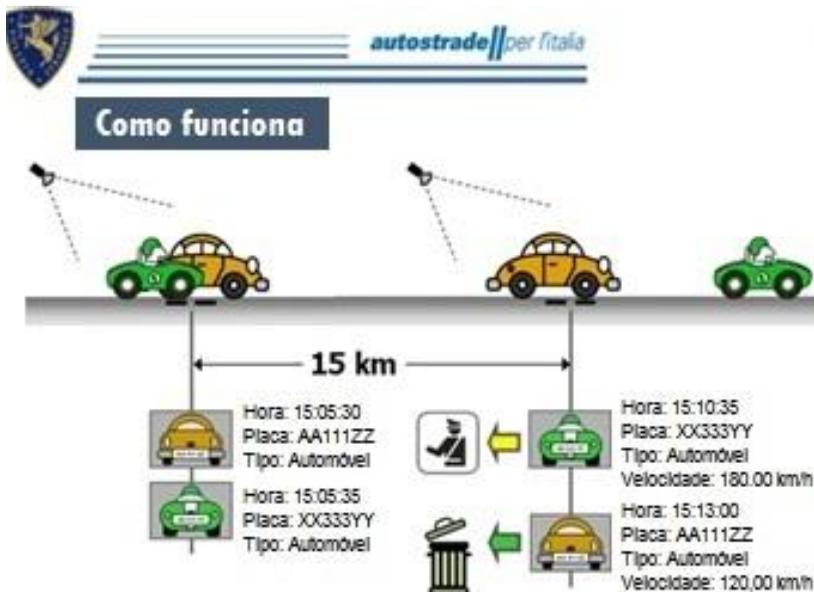
Este sistema de controle de velocidade média dos veículos é conhecido por Tutor, sendo então o primeiro instrumento na Itália a

cumprir com as novas regras que permitem as sanções automáticas para as violações dos limites de velocidade nas estradas sem a presença do agente da polícia. A extensão dos trechos fiscalizados é variável, podendo ser iguais a 1, 2, 5 ou 10 km.

O sistema é gerido pela Polícia Rodoviária, que, por lei, é o único órgão com direito ao uso do sistema para a detecção e repressão de infracções detectadas. De acordo com a legislação italiana, as multas são emitidas e recolhidas diretamente pelo Estado.

Ao contrário dos sistemas tradicionais de controle de velocidade, o Tutor permite detectar o excesso de velocidade sob qualquer condição climática e de iluminação (à noite, sob chuva, na presença de nevoeiro com visibilidade de até 30/40 metros, etc). O sistema também é capaz de classificar diferentes classes de veículos.

Além disso, os sensores e câmeras que fazem parte do sistema Tutor estão instalados em pórticos ao longo das rodovias, permitindo a detecção da velocidade média dos veículos em trechos com comprimentos variáveis, geralmente entre 10 e 25 km. A velocidade média é calculada com base na variável tempo. O sistema monitora e registra a passagem dos veículos sob os portais colocados no início e no final do trecho controlado, como mostra a Figura 36. Cabe ressaltar que o limite de velocidade estabelecido nas autoestradas italianas é de 130 km/h. Em caso de chuva, o limite reduz para 110 km/h (Autostrade per l'Italia, 2013).



Fonte: Adaptado de Autostrade per l'Italia, 2013

No intuito de garantir a privacidade dos motoristas que transitam por estas estradas, as placas dos veículos cuja velocidade média não excedam o limite permitido são excluídas automaticamente do banco de dados. Também não é possível rastrear um veículo através do Sistema Tutor para outros fins que não estejam relacionados com o cálculo da velocidade.

Tutor foi instalado ao longo de trechos que tiveram taxas de mortalidade mais elevadas do que a média. Atualmente, o controle de velocidade via Tutor abrange mais de 2.500 quilômetros de estradas (aproximadamente 40% da rede rodoviária da Itália). A presença de radares fixos é indicada por sinalização visível colocada sobre as próprias câmeras (Figura 37).

Figura 37 - Localização das rodovias com Sistema Tutor



Fonte: Adaptado de Autostrade per l'Italia, 2013

Este sistema permitiu que nos primeiros 12 meses de operação, houvesse uma redução significativa na taxa de acidentes (aproximadamente 15%) e também na velocidade de pico (aproximadamente 25%). Nas rodovias em que o Sistema Tutor foi implementado, houve uma redução na gravidade dos acidentes, sendo que a taxa de mortalidade foi reduzida em 51% e o número de acidentes com feridos foi reduzido em 27%.

3.1.6 Bélgica

Um estudo desenvolvido por De Pauw et al (2014) na Bélgica, mostra os resultados obtidos com a redução dos limites de velocidade de 90 km/h para 70 km/h em diversas autoestradas. Um efeito maior foi identificado em relação à redução dos acidentes envolvendo ferimentos graves e mortes, que mostraram uma diminuição de 33%.

3.1.7 Reino Unido

A gestão da velocidade é uma parte importante da estratégia de segurança rodoviária do Reino Unido, com câmeras de segurança sendo uma ferramenta desta estratégia de gerenciamento de velocidade. Ao longo dos últimos 10 a 15 anos câmeras de segurança, em particular, tornaram-se um método importante e eficaz em termos de custos para reduzir a sinistralidade rodoviária (ROSPA, 2011).

Os primeiros dispositivos de fiscalização eletrônica de velocidade na Inglaterra foram instalados em 1992, em West London, gerando uma redução de 70% no número de vítimas fatais nos locais monitorados, durante os três primeiros anos de fiscalização. Em 2004, o Departamento de Transportes do Reino Unido publicou uma pesquisa onde foram analisados mais de 4.000 dispositivos eletrônicos de fiscalização da velocidade durante um período de 4 anos. Os principais resultados indicaram uma redução significativa da velocidade e dos acidentes nos locais de instalação dos dispositivos, além de uma queda de 42% no número de vítimas fatais (ROSPA, 2005).

Hess (2004) analisou os efeitos de câmeras de fiscalização no número de acidentes com feridos. Efeitos dependentes do tempo (por exemplo, efeitos sazonais) foram os desafios em seu estudo. Estes efeitos poderiam reduzir a precisão da comparação entre vários intervalos de tempo. Os dados para este estudo foram obtidos através da base de dados de colisões com feridos ocorridos em Cambridgeshire, Reino Unido, entre 1990 e 2002. Os resultados mostraram uma redução de 45,74 % no número de acidentes próximas dos locais da câmara, enquanto uma menor redução foi observada nas áreas circundantes mais amplas. Hess (2004) também analisou os efeitos deste tipo de aplicação em vários tipos de rodovia. Não surpreendentemente, os resultados mostraram que a maior redução na taxa de acidente ocorreu em estradas com altos índices de infrações por excesso de velocidade (FHWA, 2014).

O primeiro sistema de fiscalização de velocidade média no Reino Unido começou a funcionar em 2011 na Rodovia A13, entre o viaduto *Canning Town* e a ligação com Goresbrook, totalizando 11,8 km de extensão. Este sistema foi denominado “*Average Speed Camera System*”, tendo como objetivo auxiliar na redução do número de mortes e feridos graves neste trecho que, por sua vez, era notório por colisões, possuindo índice de acidentes 20% maior que as demais vias expressas em Londres. Entre 2007 e 2009 houve 426 colisões neste trecho, o que resultou em duas mortes e 37 vítimas graves. O objetivo da instalação de novos radares era reduzir colisões por cerca de 30%. Além disso, foram instaladas 84 câmeras com base em 37 locais, que acompanham a velocidade dos veículos ao longo de parte ou todo o trecho da A13. Para a implantação na A13, a velocidade máxima do trecho foi aumentada de 40 para 50 mph (64 para 80 km/h).

Uma vez ativo, o sistema de câmera de segurança ajuda a reduzir significativamente o número de colisões que ocorrem ao longo deste trecho de estrada, resultando em menos acidentes graves e menor congestionamento de tráfego relacionado com colisões no local. Além de reduzir o número de mortos ou feridos nesse trecho da estrada, também é esperado que o sistema reduza o congestionamento causado por colisões, ajudando no fluxo de tráfego mais suave.

3.1.8 Espanha

Na Espanha, o controle de velocidade em travessia através do controle de velocidade média, tem como objetivo advertir o condutor, indicando a velocidade média do mesmo através de Painéis de Mensagem Variável (PMV). Este tipo de controle começou a operar na Espanha em 2010 pela *Dirección General de Tráfico* - DGT, em diversos túneis do país, como o túnel Guadarrama, em Madri, que possui 3100 metros de extensão e o túnel Torrox, em Málaga, com 1175 metros de extensão, como mostra a Figura 38 (CET-SP, 2012).

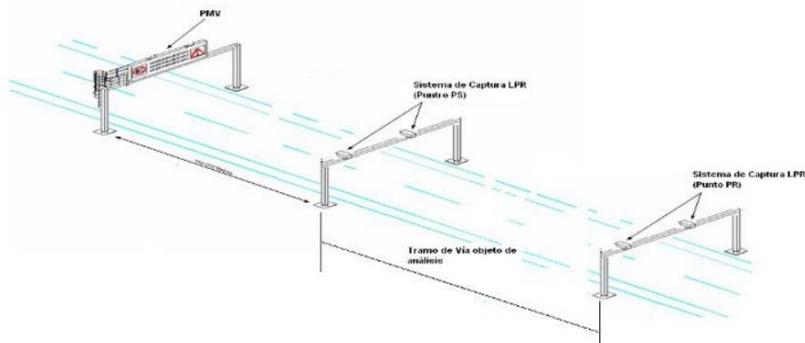
Figura 38 - Controle de velocidade média em túneis na Espanha



Fonte: DGT, 2013

Esse sistema tem base em tecnologia de processamento de imagens. Através do registro de imagens das placas dos veículos, é possível identificar a matrícula do mesmo, e isso se deve à integração de bancos de dados. A medida de velocidade é feita em dois pontos definidos e após estes pontos é locado um painel de mensagem variável, indicando a velocidade média dos motoristas, como mostra a Figura 39.

Figura 39 - Esquema de monitoramento da velocidade média na Espanha



Fonte: DGT, 2013

3.1.9 Portugal

Portugal iniciou a regulamentação do sistema de fiscalização da velocidade média em 2001. Em 2003, foi aprovado o Plano Nacional de Prevenção Rodoviária (PNPR), que estabeleceu como objetivo geral a redução em 50% do número de vítimas fatais e graves até o ano de 2010, além de traçar objetivos relativos aos grupos da população mais vulneráveis aos riscos do trânsito (pedestres, ciclistas, etc.). A meta de Portugal é manter-se entre os países da União Europeia com os melhores indicadores nos índices de acidentes.

Em 2009 foi publicada a Estratégia Nacional de Segurança Viária – ENSR, incluindo as estratégias a serem implementadas entre 2008 e 2015 (ANSR, 2009). Dentre os 30 objetivos operacionais, um dos objetos de estudo está relacionado com o controle eletrônico de velocidade. Este objeto pretende aumentar o cumprimento dos limites de velocidade estabelecidos através da implementação de um sistema nacional de fiscalização automática da velocidade.

3.1.10 Áustria

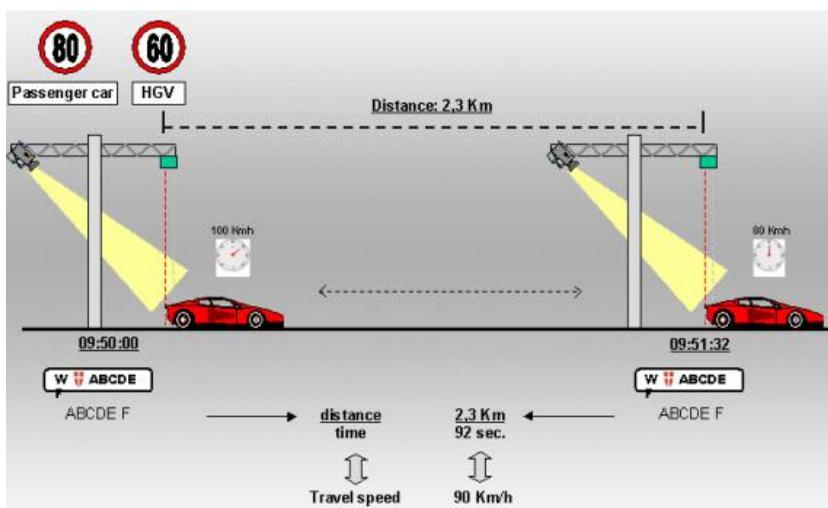
Na Áustria a fiscalização automática de velocidade média está em operação desde 2003. Neste ano, a velocidade inapropriada foi responsável por 35% de todos os acidentes fatais nas rodovias austríacas.

De acordo com o governo austríaco, os métodos de fiscalização de velocidade estático e manual tradicionais são limitados no seu efeito inibidor e requerem muitos recursos humanos; por isto recorreu-se à implantação da fiscalização de velocidade pela média por trecho (Stefan, 2006).

A extensão do túnel é de 2,3 km e o limite de velocidade é de 80 km/h para veículos de passeio, ônibus e motocicletas, e 60 km/h para veículos pesados (*Heavy Goods Vehicles - HGV*) (acima de 7,5t) que, por sua vez, representam 10% do tráfego local.

A Figura 40 apresenta o esquema de controle de velocidade média no túnel Kaisermühlen, onde a velocidade média dos veículos é calculada com base no tempo utilizado para percorrer o mesmo.

Figura 40 - Esquema de controle de velocidade



Fonte: Stefan, 2006

Logo após a introdução da medida, a velocidade média dos veículos passou de 85 km/h para 70 km/h. Após seis meses do início da operação deste sistema, a velocidade média dos veículos de passeio passou para 75 km/h, estabilizando-se neste valor, como mostra a Tabela 14.

Tabela 14 - Velocidade média dos motoristas antes e depois da implantação do sistema

Período do dia	Carros de passeio		Veículos pesados	
	Antes	Depois	Antes	Depois
Dia	85 km/h	75 km/h	70 km/h	55 km/h
Noite	95 km/h	75 km/h	75 km/h	55 km/h

Fonte: Stefan, 2006

Nos dois primeiros anos de operação do sistema de controle de velocidade média, foi possível observar um impacto positivo em relação à ocorrência de acidentes. Além da diminuição no número total de acidentes, a gravidade das vítimas foi também reduzida. Em um período de quatro anos antes de iniciar o sistema, foram registradas em média a cada ano, uma vítima fatal ou gravemente ferida e, ainda, dez vítimas com ferimentos leves. No primeiro ano de operação do sistema de controle de velocidade média, não foram registrados vítimas fatais ou gravemente feridas, enquanto o número de vítimas com ferimentos leves diminuiu para sete neste período.

3.2 PESQUISA E PRÁTICAS SOBRE SISTEMAS DE CONTROLE DE VELOCIDADE NO BRASIL

No final da década de 90, o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER iniciou o Programa de Lombadas Eletrônicas, prevendo inicialmente a implantação de aproximadamente 660 equipamentos em trechos considerados críticos, sendo a grande maioria em travessias urbanas.

No Estado do Paraná, no trecho entre os quilômetros 86 e 94 da rodovia BR-116, correspondente ao trecho urbano de Curitiba, foram instaladas lombadas eletrônicas em dois pontos distintos com semáforos. De acordo com o DNER, a média mensal de acidentes ao longo do trecho em questão reduziu em 57% (Yamada, 2005).

No Estado de Santa Catarina, Moukarzel (1999) avaliou a utilização de radares eletrônicos em rodovias estaduais. Através da análise dos resultados obtidos, o autor concluiu que os radares eletrônicos em utilização são eficientes no controle e fiscalização do excesso de

velocidade, promovendo a redução dos acidentes de trânsito e suas indesejáveis consequências, feridos e mortos. Além disso, a fiscalização eletrônica de velocidade, de acordo com Moukarzel (1999), educa os motoristas no cumprimento aos limites legais de velocidade e possui diversas vantagens em relação à fiscalização tradicional, que acaba funcionando de forma complementar à fiscalização eletrônica.

No Estado de São Paulo, Yamada (2005) avaliou o impacto do emprego de radares fixos na velocidade e na acidentalidade em um trecho de 74 km da Rodovia Washington Luís (SP-310), compreendido entre o Km 153 e o Km 227, sob concessão da Centrovias. Os resultados deste estudo mostraram que o limite legal de velocidade é mais respeitado no local onde se encontram os radares e um pouco antes dos mesmos. Logo depois dos radares e em pontos mais afastados dos radares, os limites de velocidade são menos respeitados,

Na cidade de São Paulo, estudos desenvolvidos pela Companhia de Engenharia de Tráfego – CET mostram que a fiscalização por radares, aliada às lombadas eletrônicas e a outras medidas de segurança vem produzindo resultados muito positivos, principalmente depois da introdução do atual Código de Trânsito Brasileiro. O número de equipamentos de fiscalização em operação na cidade de São Paulo se aproxima dos 800.

Pesquisas realizadas pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID mostram que em pontos onde estavam instalados equipamentos de controle de velocidade na cidade de São Paulo, incluindo 40 radares fixos e 31 barreiras eletrônicas, o número de feridos, principalmente pedestres, diminuiu cerca de 22% um ano após a instalação dos mesmos e o número de mortes reduziu aproximadamente 60% nas vias mais importantes de São Paulo (Gold & Cannell, 2001).

Apesar do número expressivo de equipamentos em operação e as reduções do número de acidentes, muitos motoristas reduzem a velocidade somente quando se aproximam dos equipamentos, para evitar multas. No entanto, um novo método de fiscalização está em fase de avaliação por técnicos da Companhia de Engenharia de Tráfego. Em vez de flagrar o desrespeito somente onde os radares estão colocados, o sistema calcula a velocidade média de cada veículo em um determinado trecho, como já vem sendo adotado em outros países apresentados anteriormente. Se o tempo gasto por ele for menor do que seria possível dentro do limite estabelecido, o condutor é multado. Este novo método

exigirá uma regulamentação específica, já que o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) não prevê este tipo de fiscalização.

No estado do Rio Grande do Sul, o Departamento de Estradas de Rodagem – DAER, iniciou seu Programa de Fiscalização Eletrônica no ano de 1998, apresentando resultados satisfatórios. O número de acidentes reduziu 25% enquanto que o número de feridos reduziu 100% em um dos trechos fiscalizados. Em sua tese, Bocanegra (2006) apresentou procedimentos para implantação de lombadas eletrônicas em áreas urbanas, prevendo simulação e análise microscópica do tráfego.

Oliveira (2008) avaliou a utilização de medidores eletrônicos de velocidade na redução de acidentes na área urbana de Uberlândia, no Estado de Minas Gerais. O estudo avaliou algumas interseções e seu entorno, sendo constatado um aumento no número de acidentes, porém um decréscimo na gravidade dos mesmos. Esta situação pode estar relacionada com a mudança de sentido das vias e mudanças na geometria, o que pode ter contribuído para o aumento localizado no número de acidentes.

Brandão (2011) desenvolveu um procedimento para hierarquização e tratamento de cenário de risco de acidentes de trânsito por excesso de velocidade. A aplicação da etapa de reconhecimento dos cenários de risco possibilitou a geração de banco de dados sobre locais com risco de acidentes de trânsito que merecem acompanhamento permanente.

De acordo com Vieira (2003), no Distrito Federal houve uma redução de 40% no número de acidentes com mortes no trânsito entre os anos de 1996 e 2001. Uma pesquisa realizada pelo Ibope com um total de 1300 pessoas entrevistadas em oito capitais brasileiras, verificou que 84% aprovam as instalações de radares e lombadas eletrônicas nas vias e rodovias. Desse total de entrevistados 46% acreditam que o monitoramento eletrônico é bastante eficiente para reduzir o número de acidentes (Cupollilo, 2006).

No cenário nacional, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, através do Edital 471/2009, que define o Plano Nacional de Controle Eletrônico de Velocidade – PNCV, tem por objetivo a prestação de serviços necessários ao controle viário nas rodovias federais, mediante a disponibilização, instalação, operação e manutenção de equipamentos eletrônicos, com coleta, armazenamento e processamento de dados estatísticos e dados e imagens de infrações.

Ao todo, o edital previa a instalação de 2.696 equipamentos, com monitoramento de 5392 faixas de trânsito, pelo prazo de cinco anos. Os tipos de equipamentos utilizados no Programa Nacional de Controle Eletrônico de Velocidade - PNCV do DNIT são: barreira eletrônica, radar fixo e equipamentos para controle do avanço de sinal vermelho e parada sobre faixa.

De acordo com o edital 471/2009, o PNCV garante a modernidade do gerenciamento e fiscalização de trânsito por parte do DNIT, destacando-se as seguintes metas:

- Fiscalização intensiva de trânsito, objetivando educar e conscientizar os condutores e demais usuários das rodovias federais, sobre a importância da manutenção de velocidades de veículos dentro dos limites regulamentares;
- Aumento da segurança de trânsito nos pontos críticos identificados nas rodovias federais;
- Aumento da segurança de trânsito nos pontos das rodovias federais sinalizados com faixa de pedestre;
- Redução do número de acidentes e de vítimas, incluindo mortos e feridos;
- Diminuição de custos com acidentes de trânsito;
- Utilização de tecnologia atualizada, possibilitando captação de dados e imagens que possam contribuir com a fiscalização e com o planejamento viário;
- Coleta de dados estatísticos de fluxo de veículos, para uso no planejamento do DNIT;
- Eliminação de ondulações transversais nas rodovias, aumentando a fluidez do tráfego, diminuindo os tempos de rotas e redução dos custos de manutenção dos veículos.

O DNIT divulgou em janeiro de 2014 um relatório com os pontos de controle eletrônico de velocidade em operação. Neste relatório, foi divulgado que neste período 3655 equipamentos estavam em operação no Brasil. Deste total, 1703 equipamentos eram do tipo radar fixo, 1653 eram do tipo barreira eletrônica e 309 era equipamentos controladores de avanço de sinal e parada sobre faixa.

Em uma avaliação do atual PNCV, divulgada pelo DNIT, foram verificadas algumas fraquezas do Programa, destacando-se:

- Não uso de metodologia padrão para a definição dos pontos e trechos críticos, assim como para priorização dos locais a serem monitorados;
- Dificuldades no acesso aos dados de acidentes;
- Dados de acidentes não georreferenciados;
- Deficiência na análise periódica dos locais monitorados;
- Ocorrência frequente de erros nos estudos técnicos;
- Muito tempo despendido entre o início da instalação e operação dos equipamentos e o início do processamento das infrações;
- Ausência de prazos limites para a realização dos estudos técnicos, instalação e sinalização dos equipamentos;
- Ausência de padronização de sinalização vertical e horizontal (substratos, películas, retrorrefletância);
- Dificuldades no acesso às informações geradas pelos equipamentos.

Apesar das dificuldades encontradas, o DNIT aponta algumas oportunidades a partir do PNCV (DNIT, 2014), no intuito de cumprir com as suas obrigações:

- Reduzir a severidade e a gravidade dos acidentes com o aumento da segurança viária;
- Educar os usuários das rodovias federais para o cumprimento da legislação de trânsito;
- Conscientizar a sociedade a respeito da importância do controle de velocidade e dos benefícios da fiscalização para a segurança viária;
- Construir manuais e definir procedimentos padrão;
- Estabelecer metodologia padronizada para a avaliação periódica dos locais monitorados, bem como equipe específica e permanente para realizar tal avaliação.

Diante dessas colocações do DNIT e das condições de segurança das estradas brasileiras encontradas atualmente, esta pesquisa busca contribuir para a melhoria da segurança viária no país, através do desenvolvimento de métodos para concepção e gestão de sistemas de controle de velocidade.

No capítulo a seguir serão analisados alguns pontos com controle eletrônico de velocidade do PNCV, buscando analisar as condições de segurança desses pontos, por meio da análise de dados de acidentes antes e após a instalação dos equipamentos. Desta forma, busca-se subsídios

técnicos para uma melhor adequação do método a ser proposto nesta tese, contribuindo assim para a efetividade dos resultados alcançados com a implantação de sistemas de controle de velocidade.

4 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO DE CONTROLADORES DE VELOCIDADE NA SEGURANÇA VIÁRIA

O controle de velocidade em rodovias é uma forma de estabelecer que as velocidades máximas regulamentadas sejam efetivamente respeitadas, contribuindo para o aumento da segurança de pedestres e motoristas, através da redução do risco potencial de acidentes. Portanto, os controladores de velocidade são ferramentas importantes para redução do número e gravidade dos acidentes.

No intuito buscar subsídios técnicos para a definição de locais para a instalação de equipamentos de controle eletrônico de velocidade a serem apresentados nos métodos propostos desta tese, bem como propor um método para gestão de sistemas de controle de velocidade, foram levantados junto ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, uma listagem com pontos onde já foram instalados equipamentos de controle de velocidade em rodovias sob jurisdição do referido órgão.

Tal listagem, disponível no site do DNIT, apresentava o local de instalação dos equipamentos, incluindo Unidade da Federação (UF), rodovia (BR), coordenadas geográficas, km e município, além do tipo de equipamento instalado (radar fixo ou barreira eletrônica) e a velocidade regulamentada no local.

De acordo com a Resolução 396/2011 do Contran, em seu artigo 4º, cabe à autoridade de trânsito com circunscrição sobre a via determinar a localização, a sinalização, a instalação e a operação dos medidores de velocidade do tipo fixo. Sendo assim, para avaliação dos efeitos da instalação desses equipamentos em relação às condições de segurança viária de rodovias federais, buscou-se junto à Coordenação Geral de Operações Rodoviárias – CGPERT/DNIT a data de início de operação desses equipamentos.

O parágrafo 2º do artigo 4º da Resolução 396/2011 cita que, para determinar a necessidade da instalação de medidor de velocidade do tipo fixo, deve ser realizado estudo técnico que contemple, dentre outras variáveis, as características do local/trecho da via, a velocidade regulamentada, o número de acidentes ocorridos no local. Tal análise deve incluir 500 metros antes e 500 metros depois do local que se pretende instalar o equipamento, além da análise dos fatores de risco no local. Ainda de acordo com a mesma resolução, para medir a eficácia dos

medidores de velocidade do tipo fixo deve ser realizado novo estudo técnico, com periodicidade máxima de 12 (doze) meses.

Tendo como base as definições da Resolução 396/2011 do Contran, será apresentada a seguir a análise de trechos que foram contemplados com equipamentos de controle de velocidade do Programa Nacional de Controle Eletrônico de Velocidade – PNCV em rodovias federais. Para este estudo, serão realizadas análises dos acidentes ocorridos um ano antes e após a instalação dos equipamentos tipo radar fixo e barreira eletrônica em pontos com diferentes características, a saber:

- Geometria do trecho: tangente ou curva;
- Uso do Solo: urbano ou rural;
- Condições específicas: interseções e acessos.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS TRECHOS ANALISADOS

Para a avaliação do impacto da instalação de equipamentos de controle de velocidade em rodovias, foram levantados pontos em que os equipamentos foram instalados no ano de 2012, permitindo assim uma análise do número e gravidade de acidentes ocorridos antes e depois da instalação dos mesmos.

Além disso, buscou-se inicialmente pontos com controle de velocidade distantes no mínimo 1 km de outros pontos com controle de velocidade, evitando assim a influência de outros equipamentos na ocorrência de acidentes. A Tabela 15 apresenta a localização dos pontos em que foram realizadas as análises, bem como o tipo de equipamento instalado e algumas características físicas e operacionais do trecho.

Tabela 15 - Localização dos equipamentos de controle de velocidade

Rodovia	UF	km	Tipo de equip.	Vel. Regul. km/h	Uso do Solo	Geometria	Pista
BR-104	AL	16,5	Radar Fixo	60	rural	tangente/ interseção	simples
BR-316	AL	134,3	Barreira Eletr.	50	urbano	tangente	simples

Continuação Tabela 15

Rodovia	UF	km	Tipo de equip.	Vel. Regul. km/h	Uso do Solo	Geometria	Pista
BR-316	AL	114,4	Barreira Eletr.	50	urbano	tangente	simples
BR-101	BA	208,8	Radar Fixo	60	urbano	tangente/interseção	simples
BR-116	BA	336,2	Barreira Eletr.	60	urbano	tangente/interseção	simples
BR-324	BA	474,9	Barreira Eletr.	60	urbano	tangente	simples
BR-101	ES	2,1	Barreira Eletr.	80	rural	tangente	dupla
BR-101	ES	383,8	Radar Fixo	60	rural	tangente	dupla
BR-020	GO	214,5	Radar Fixo	60	urbano	tangente/interseção	simples
BR-060	GO	79,1	Barreira Eletr.	40	urbano	tangente	dupla
BR-153	GO	301,4	Radar Fixo	60	urbano	tangente/interseção	simples
BR-153	GO	610,8	Radar Fixo	40	urbano	tangente	dupla
BR-070	MT	630	Radar Fixo	80	rural	tangente	simples
BR-174	MT	126	Radar Fixo	60	rural	tangente/interseção	simples
BR-163	MS	730,8	Radar Fixo	60	urbano	tangente/interseção	simples
BR-040	MG	453,2	Barreira Eletr.	70	urbano	tangente	dupla
BR-040	MG	617,2	Radar Fixo	60	urbano	tangente	simples
BR-116	MG	244,2	Barreira Eletr.	60	urbano	curva/interseção	simples
BR-259	MG	130,5	Barreira Eletr.	50	urbano	tangente	dupla
BR-262	MG	566,2	Radar Fixo	60	rural	curva	simples

Continuação Tabela 15

Rodovia	UF	km	Tipo de equip.	Vel. Regul. km/h	Uso do Solo	Geometria	Pista
BR-381	MG	322,7	Barreira Eletr.	50	urbano	tangente/obra	simples
BR-393	MG	21,7	Radar Fixo	50	urbano	tangente/interseção	simples
BR-459	MG	84,9	Radar Fixo	60	urbano	tangente	simples
BR-104	PB	118,6	Radar Fixo	80	urbano	tangente/interseção	simples
BR-487	PR	200,2	Radar Fixo	60	rural	curva	simples
BR-316	PI	312,7	Barreira Eletr.	60	urbano	tangente/interseção	simples
BR-101	RJ	403,4	Radar Fixo	50	urbano	tangente	dupla
BR-101	RJ	485,1	Radar Fixo	100	urbano	tangente/interseção	dupla
BR-356	RJ	147,8	Barreira Eletr.	40	urbano	tangente	simples
BR-101	RN	58	Radar Fixo	50	urbano	interseção	simples
BR-226	RN	28,2	Radar Fixo	80	urbano	tangente/interseção	simples
BR-287	RS	250,1	Barreira Eletr.	80	urbano	tangente/interseção	simples
BR-392	RS	314	Radar Fixo	60	urbano	tangente/acesso	simples
BR-364	RO	348	Radar Fixo	60	urbano	tangente/acesso	simples
BR-364	RO	712	Barreira Eletr.	60	urbano	interseção	simples
BR-153	SC	100,4	Barreira Eletr.	60	urbano	tangente/acesso	simples
BR-280	SC	7,3	Barreira Eletr.	50	urbano	tangente/acesso	simples

Continuação Tabela 15

Rodovia	UF	km	Tipo de equip.	Vel. Regul. km/h	Uso do Solo	Geometria	Pista
BR-280	SC	67,5	Barreira Eletr.	60	urbano	tangente/ acesso	simples
BR-470	SC	7	Radar Fixo	50	urbano	tangente/ acesso	simples
BR-470	SC	292	Radar Fixo	80	rural	tangente/ interseção	simples
BR-459	SP	29,5	Radar Fixo	60	urbano	interseção	simples
BR-235	SE	26,5	Radar Fixo	60	rural	interseção	simples
BR-222	CE	89,2	Barreira Eletr.	60	urbano	tangente/ acesso	simples
BR-222	CE	209,9	Barreira Eletr.	60	urbano	tangente	simples

Fonte: DNIT (2014)

A seguir apresenta-se uma análise dos acidentes ocorridos nos trechos com controle eletrônico de velocidade.

4.2 ANÁLISE DOS ACIDENTES OCORRIDOS ANTES E APÓS A INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE VELOCIDADE

A Tabela 16 apresenta o número de acidentes ocorridos em cada um dos pontos analisados, um ano antes e um ano após a instalação dos equipamentos de controle de velocidade. Apresenta ainda a gravidade dos acidentes ocorridos, ou seja, acidentes sem vítimas, acidentes com feridos e acidentes com mortos.

Tabela 16 - Número de acidentes ocorridos antes e depois da instalação dos equipamentos

Rodovia	UF	km	Nº de acidentes antes (gravidades)				Nº de acidentes depois (gravidades)			
			ASV	ACF	ACM	Total	ASV	ACF	ACM	Total
BR-104	AL	16,5	2	1	0	3	4	0	0	4
BR-316	AL	134,3	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-316	AL	114,4	3	1	2	6	0	1	1	2
BR-101	BA	208,8	2	3	0	5	3	4	0	7
BR-116	BA	336,2	0	2	1	3	2	0	0	2
BR-324	BA	474,9	1	3	0	4	2	0	0	2
BR-101	ES	2,1	109	28	0	137	111	23	1	135
BR-101	ES	383,8	2	0	0	2	4	1	0	5
BR-020	GO	214,5	0	1	0	1	1	1	0	2
BR-060	GO	79,1	5	5	0	10	8	3	0	11
BR-153	GO	310,4	0	2	0	2	5	2	1	8
BR-153	GO	610,8	7	0	0	7	0	1	1	2
BR-070	MT	630	0	0	0	0	1	0	0	1
BR-174	MT	126	0	2	0	2	0	0	0	0
BR-163	MS	730,8	3	7	1	11	4	3	0	7
BR-040	MG	453,2	2	4	0	6	3	2	0	5
BR-040	MG	617,2	17	7	1	25	27	6	1	34
BR-116	MG	244,2	2	3	0	5	3	2	0	5
BR-259	MG	130,5	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-262	MG	566,2	1	0	0	1	1	0	0	1
BR-381	MG	322,7	6	3	0	9	2	0	0	2
BR-393	MG	21,7	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-459	MG	84,9	3	1	0	4	1	5	0	6

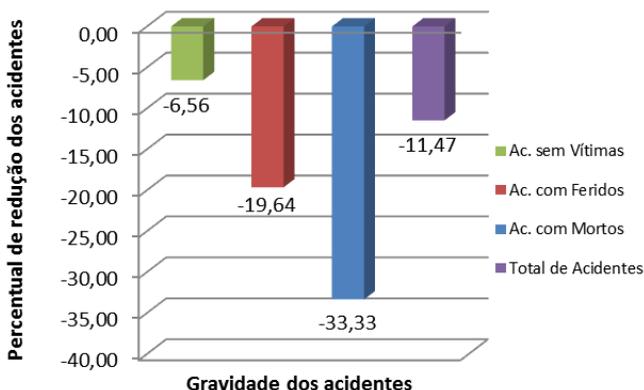
Continuação Tabela 16

Rodovia	UF	km	N° de acidentes antes (gravidades)				N° de acidentes depois (gravidades)			
			ASV	ACF	ACM	Total	ASV	ACF	ACM	Total
BR-104	PB	118,6	1	4	1	6	5	4	0	9
BR-487	PR	200,2	2	1	0	3	2	1	0	3
BR-316	PI	312,7	6	7	0	13	11	10	0	21
BR-101	RJ	403,4	17	6	0	23	10	3	0	13
BR-101	RJ	485,1	7	3	0	10	5	2	0	7
BR-356	RJ	147,8	3	3	0	6	2	4	0	6
BR-101	RN	58	2	2	0	4	1	0	0	1
BR-226	RN	28,2	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-287	RS	250,1	11	6	0	17	11	5	1	17
BR-392	RS	314	0	1	0	1	1	0	0	1
BR-364	RO	348	1	2	1	4	0	3	0	3
BR-364	RO	712	60	24	1	85	36	18	0	54
BR-153	SC	100,4	3	4	0	7	2	3	0	5
BR-280	SC	7,3	9	7	0	16	9	3	0	12
BR-280	SC	67,5	17	9	0	26	5	13	0	18
BR-470	SC	7	3	5	0	8	8	5	0	13
BR-470	SC	292	0	0	1	1	1	0	0	1
BR-459	SP	29,5	6	6	0	12	1	3	0	4
BR-235	SE	26,5	5	2	0	7	5	0	0	5
BR-222	CE	89,2	1	0	0	1	1	2	0	3
BR-222	CE	209,9	1	3	0	4	1	2	0	3

Fonte: DNIT (2014)

A partir das informações apresentadas na Tabela 16 foi possível analisar o percentual de redução ou acréscimo do número de acidentes ocorridos após a instalação de equipamentos de controle de velocidade, de acordo com a gravidade dos acidentes, conforme indica a Figura 41.

Figura 41 - Percentual de acidentes ocorridos um ano após a instalação de equipamentos

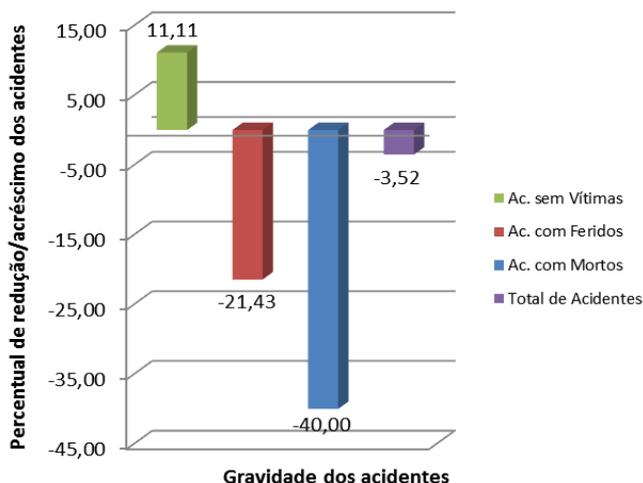


Fonte: Autora (2015)

De acordo com a Figura 41, no conjunto de locais analisados houve redução no número de acidentes ocorridos um ano após a instalação dos equipamentos em relação a um ano anterior. Verifica-se uma maior redução no número de acidentes com feridos, totalizando uma redução de 19,64%. Em relação ao número de acidentes com mortos, houve uma redução de 33,33% e em relação aos acidentes sem vítimas, ou seja, somente danos materiais, estes representaram uma redução de 6,56%. No total de acidentes ocorridos um ano após a instalação dos equipamentos, houve uma redução de 11,47% em relação ao número de acidentes ocorridos no período de um ano antes da instalação dos equipamentos.

Porém, ao analisar os acidentes ocorridos nos locais onde foram instalados equipamentos do tipo radar fixo, houve um acréscimo de 11,11% no número de acidentes sem vítimas em relação ao ano anterior à instalação destes equipamentos, como mostra a Figura 42.

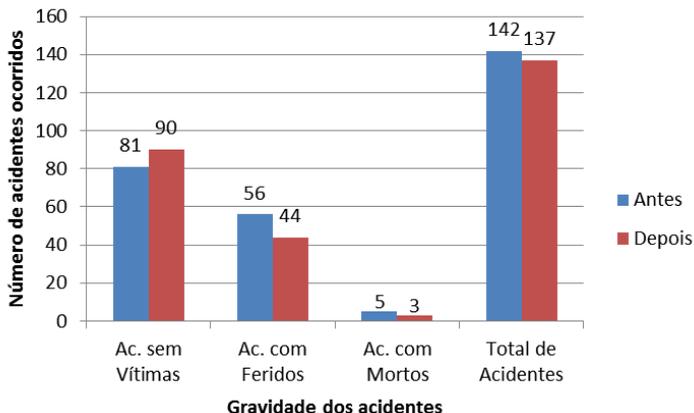
Figura 42 - Percentual de acidentes ocorridos um ano após a instalação dos radares fixos



Fonte: Autora (2015)

Tal situação pode estar relacionada à redução brusca da velocidade quando verificada a presença dos radares fixos, causando acidentes do tipo colisão traseira, por exemplo. Em relação às outras gravidades dos acidentes, ou seja, acidentes com feridos e acidentes com mortos, houve uma redução significativa no número de acidentes ocorridos um ano após, sendo estas reduções iguais a 21,43% e 40%, respectivamente. Ainda em relação à Figura 42, analisando o total de acidentes ocorridos, este número foi pouco expressivo, ou seja, houve uma redução de 3,52%. Este número se deve à contribuição do número de acidentes sem vítimas em relação ao total de acidentes. A Figura 43 apresenta o número de acidentes ocorridos antes e após a instalação dos radares fixos nos pontos analisados.

Figura 43 - Total de acidentes ocorridos antes e após a instalação dos radares fixos

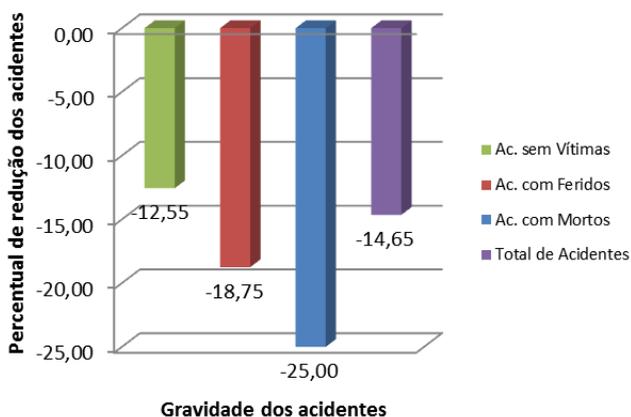


Fonte: Autora (2015)

De acordo com a Figura 43, o número de acidentes sem vítimas antes da instalação dos equipamentos de controle de velocidade nos trechos analisados foi 81 acidentes e um ano após, este total passou a 90 acidentes. Em relação ao número de acidentes com mortos, um ano antes foram registrados 5 acidentes com mortos e um ano após a instalação dos equipamentos, foram registrados 3 acidentes.

Ao analisar os acidentes ocorridos nos locais onde foram instaladas barreiras eletrônicas, verificou-se um comportamento diferente dos locais com radar fixo, como apresenta a Figura 44.

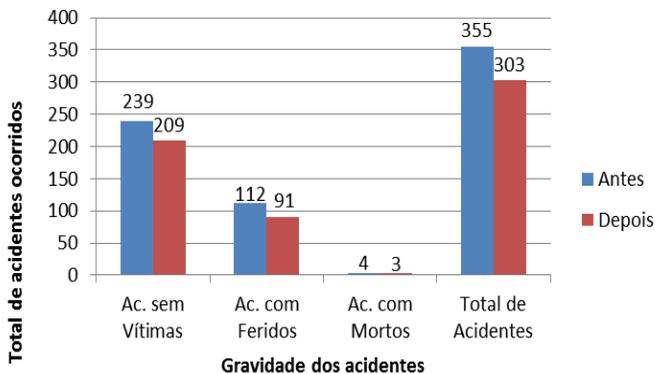
Figura 44 - Percentual de acidentes um ano após a instalação das barreiras eletrônicas



Fonte: Autora (2015)

Houve um decréscimo no número de acidentes sem vítimas, totalizando uma redução de 12,55% em relação aos acidentes ocorridos um ano antes da instalação das barreiras eletrônicas. Os acidentes com feridos reduziram em 18,75% e o total de acidentes ocorridos reduziu 14,65% em relação ao ano anterior à instalação. Em relação ao número de acidentes com mortos teve um acréscimo de 25%. A Figura 45 apresenta o número total de acidentes ocorridos.

Figura 45 - Total de acidentes ocorridos antes e após a instalação das barreiras eletrônicas



Fonte: Autora (2015)

A Figura 45 indica que houve uma redução de 30 acidentes sem vítimas, ou seja, um ano antes da instalação foram registrados 239 acidentes, enquanto que um ano após este número passou a 209 acidentes. Em relação ao número de acidentes com mortos, este número reduziu de 4 acidentes para 2 acidentes com mortos.

4.2.1 Análise de pontos específicos de controle de velocidade

Apesar da análise geral dos acidentes ocorridos nos pontos de controle de velocidade apresentados na Figura 45 mostrarem resultados satisfatórios em relação à segurança viária, uma análise específica de cada ponto de um sistema de controle de velocidade é de extrema importância. Isto se faz necessário no intuito de avaliar a eficácia do local onde o equipamento foi instalado, bem como propor soluções de engenharia complementares, caso seja necessário.

A Tabela 17 apresenta os resultados percentuais obtidos em cada um dos pontos de controle de velocidade analisados.

Tabela 17 - Resultados obtidos após a instalação dos equipamentos de controle de velocidade

Rodovia	UF	km	Redução/Aumento (%)			
			Acidentes sem Vítimas	Acidentes com Feridos	Acidentes com Mortos	Total de Acidentes
BR-104	AL	16,5	100,00	-100,00	0,00	33,33
BR-316	AL	134,3	0,00	0,00	0,00	0,00
BR-316	AL	114,4	-100,00	0,00	-50,00	-66,67
BR-101	BA	208,8	50,00	33,33	0,00	40,00
BR-116	BA	336,2	200,00	-100,00	-100,00	-33,33
BR-324	BA	474,9	100,00	-100,00	0,00	-50,00
BR-101	ES	2,1	1,83	-17,86	100,00	-1,46
BR-101	ES	383,8	100,00	100,00	0,00	150,00
BR-020	GO	214,5	100,00	0,00	0,00	100,00
BR-060	GO	79,1	60,00	-40,00	0,00	10,00
BR-153	GO	310,4	500,00	0,00	100,00	300,00
BR-153	GO	610,8	-100,00	100,00	100,00	-71,43
BR-070	MT	630	100,00	0,00	0,00	100,00
BR-174	MT	126	0,00	-100,00	0,00	-100,00
BR-163	MS	730,8	33,33	-57,14	-100,00	-36,36
BR-040	MG	453,2	50,00	-50,00	0,00	-16,67
BR-040	MG	617,2	58,82	-14,29	0,00	36,00
BR-116	MG	244,2	50,00	-33,33	0,00	0,00
BR-259	MG	130,5	0,00	0,00	0,00	0,00
BR-262	MG	566,2	0,00	0,00	0,00	0,00
BR-381	MG	322,7	-66,67	-100,00	0,00	-77,78
BR-393	MG	21,7	0,00	0,00	0,00	0,00
BR-459	MG	84,9	-66,67	400,00	0,00	50,00

Continuação Tabela 17

Rodovia	UF	km	Redução/Aumento (%)			
			Acidentes sem Vítimas	Acidentes com Feridos	Acidentes com Mortos	Total de Acidentes
BR-104	PB	118,6	400,00	0,00	-100,00	50,00
BR-487	PR	200,2	0,00	0,00	0,00	0,00
BR-316	PI	312,7	83,33	42,86	0,00	61,54
BR-101	RJ	403,4	-41,18	-50,00	0,00	-43,48
BR-101	RJ	485,1	-28,57	-33,33	0,00	-30,00
BR-356	RJ	147,8	-33,33	33,33	0,00	0,00
BR-101	RN	58	-50,00	-100,00	0,00	-75,00
BR-226	RN	28,2	0,00	0,00	0,00	0,00
BR-287	RS	250,1	0,00	-16,67	100,00	0,00
BR-392	RS	314	100,00	-100,00	0,00	0,00
BR-364	RO	348	-100,00	50,00	-100,00	-25,00
BR-364	RO	712	-40,00	-25,00	-100,00	-36,47
BR-153	SC	100,4	-33,33	-25,00	0,00	-28,57
BR-280	SC	7,3	0,00	-57,14	0,00	-25,00
BR-280	SC	67,5	-70,59	44,44	0,00	-30,77
BR-470	SC	7	166,67	0,00	0,00	62,50
BR-470	SC	292	100,00	0,00	-100,00	0,00
BR-459	SP	29,5	-83,33	-50,00	0,00	-66,67
BR-235	SE	26,5	0,00	-100,00	0,00	-28,57
BR-222	CE	89,2	0,00	200,00	0,00	200,00
BR-222	CE	209,9	0,00	-33,33	0,00	-25,00
Total			-6,56	-19,64	-33,33	-11,47

Fonte: Autora (2015)

Por meio da Tabela 17 é possível verificar que a maior parte dos pontos analisados manteve o número de acidentes com mortes um ano após a instalação dos equipamentos de controle de velocidade. Um exemplo disto é o km 29,5 da BR-459/SP, onde um radar fixo foi instalado em uma interseção, como mostra a Figura 46.

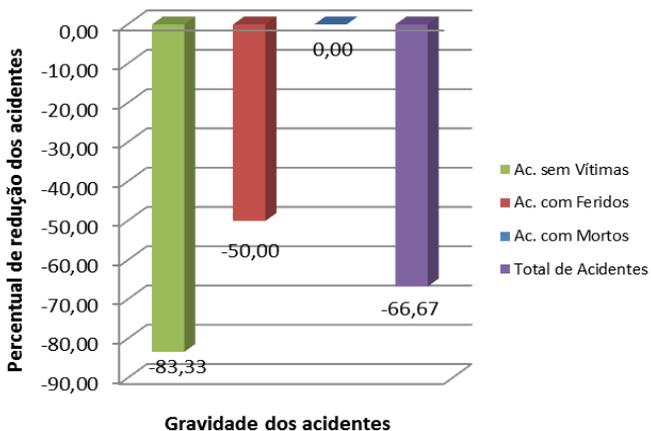
Figura 46 - Localização de radar fixo no km 29,5 da BR-459/SP



Fonte: Google maps (2015)

Apesar do número de mortes se manter após a instalação do equipamento, o número de acidentes sem vítimas, com feridos e o total de acidentes reduziu em 83,33%, 50% e 66,67%, respectivamente, como mostra a Figura 47.

Figura 47 - Resultados obtidos na BR-459/SP um ano após a instalação de equipamento



Fonte: Autora (2015)

Outro exemplo de resultado obtido um ano após a instalação de equipamento de controle eletrônico de velocidade é apresentado na Figura 49, correspondendo ao km 453,2 da BR-040/MG.

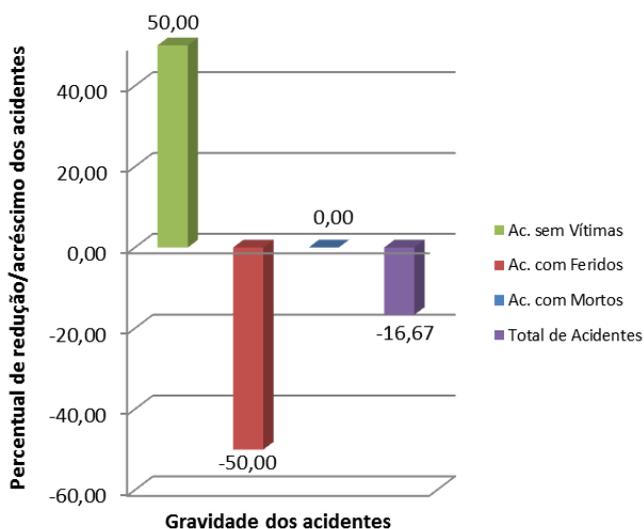
Figura 48 - Localização de radar fixo no km 453,2 da BR-040/MG



Fonte: Google maps (2015)

A Figura 49 apresenta os resultados obtidos um ano após a instalação do equipamento de controle de velocidade. Verifica-se uma redução de 50% no número de acidentes com feridos e redução de 16,67% no total de acidentes. No entanto, houve um aumento de 50% no número de acidentes sem vítimas, ou seja, somente com danos materiais. Tal situação é bastante comum, principalmente em relação aos acidentes do tipo colisão traseira, em função da redução brusca de velocidade por alguns motoristas.

Figura 49 - Resultados obtidos na BR-040/MG um ano após a instalação de equipamento



Fonte: Autora (2015)

Em alguns pontos, a redução do número total de acidentes ocorridos chegou a 100%. Porém, em outros pontos, observou-se o aumento do número de acidentes ocorridos, chegando a um acréscimo de 166,7% no km 95,9 da BR-262, ou seja, um ano antes da instalação dos equipamentos, ocorreram 6 acidentes, sendo 3 acidentes com feridos e 3 sem vítimas. Um ano após a instalação, o total de acidentes ocorridos chegou a 16, sendo 8 acidentes com feridos e 8 acidentes sem vítimas. A Figura 50 apresenta a localização do km 95,9 da BR-262/MG.

Figura 50 - Localização do km 95,9 da BR-262/MG



Fonte: Google maps (2015)

Observa-se na Figura 50 que se trata de um trecho urbano, com uma interseção em nível, em curva, com diversas interferências nas áreas adjacentes à rodovia, incluindo acessos a estabelecimentos comerciais, conforme indica a Figura 51.

Figura 51 - Presença de estabelecimentos comerciais e acessos junto à rodovia



Fonte: Google maps (2015)

A partir do levantamento de informações relativas aos locais com controladores de velocidade em operação, verifica-se a necessidade de propor um método para definição e priorização de locais a serem contemplados com um sistema de controle de velocidade, bem como propor a adoção de um novo conceito relacionado ao controle de velocidade por trecho e não somente um controle pontual da velocidade.

5 MÉTODO PROPOSTO

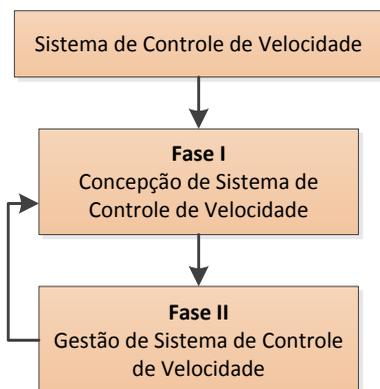
O desenvolvimento do método proposto nesta tese foi embasado na revisão da literatura referente ao estado da arte e prática sobre os procedimentos utilizados no Brasil e em outros países, bem como na avaliação de desempenho de equipamentos já instalados, buscando uma definição de critérios adaptados à realidade das rodovias brasileiras.

Conforme apresentado no item 2.2 desta tese, a literatura demonstra de forma convincente a relação entre a velocidade e a ocorrência e gravidade dos acidentes de trânsito. Assim, não restam dúvidas sobre o papel do monitoramento e limitações de velocidade em uma rodovia. No intuito de melhorar as condições de segurança viária em uma rodovia, as ações devem estar integradas em torno dos três pilares fundamentais: educação, engenharia e fiscalização (Wilson et al 2012).

De acordo com uma publicação da *Federal Highway Administration* (FHWA, 2014), os estudos relacionados ao controle da velocidade e segurança nas estradas podem ser categorizados em três grupos com base no objetivo do estudo. O primeiro grupo consiste em estudos que analisam os dados históricos de acidentes apenas para investigar os efeitos da aplicação de sistemas de controle de velocidade sobre as variações da taxa de acidente. O segundo grupo é composto por estudos que busquem avaliar e melhorar o desempenho dos sistemas de controle de velocidade existentes. Já o terceiro grupo tem foco sobre a concepção de novos programas de execução.

Buscando englobar estes três grupos de ações, propõem-se o desenvolvimento de um método a ser desenvolvido em duas fases. A Fase I do método corresponde à concepção de um Sistema de Controle de Velocidade (SCV) em rodovias. Já a Fase II corresponde à gestão de um SCV, como apresenta a Figura 52.

Figura 52 - Fases do método proposto



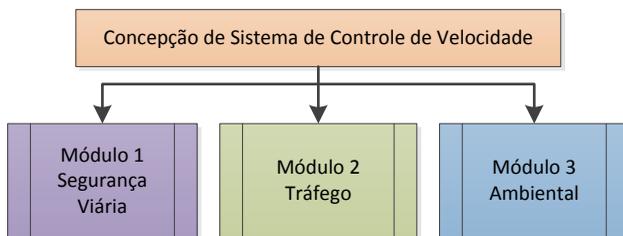
Fonte: Autora (2015)

A seguir estão apresentadas detalhadamente as duas fases do método proposto.

5.1 FASE I – MÉTODO PARA CONCEPÇÃO DE SISTEMA DE CONTROLE DE VELOCIDADE

Este item da tese descreve os procedimentos a serem adotados para a implantação de sistemas de controle de velocidade - SVC em rodovias. Um modelo de concepção de sistema de controle de velocidade pode ser composto por módulos, de acordo com os fatores prioritários para o controle de velocidade, expostos no item 2.5.3 desta tese. Estes módulos podem estar representados por aspectos relativos à segurança viária, tráfego e ambiental, como apresenta a Figura 53.

Figura 53 - Fase I - Concepção do sistema de controle de velocidade

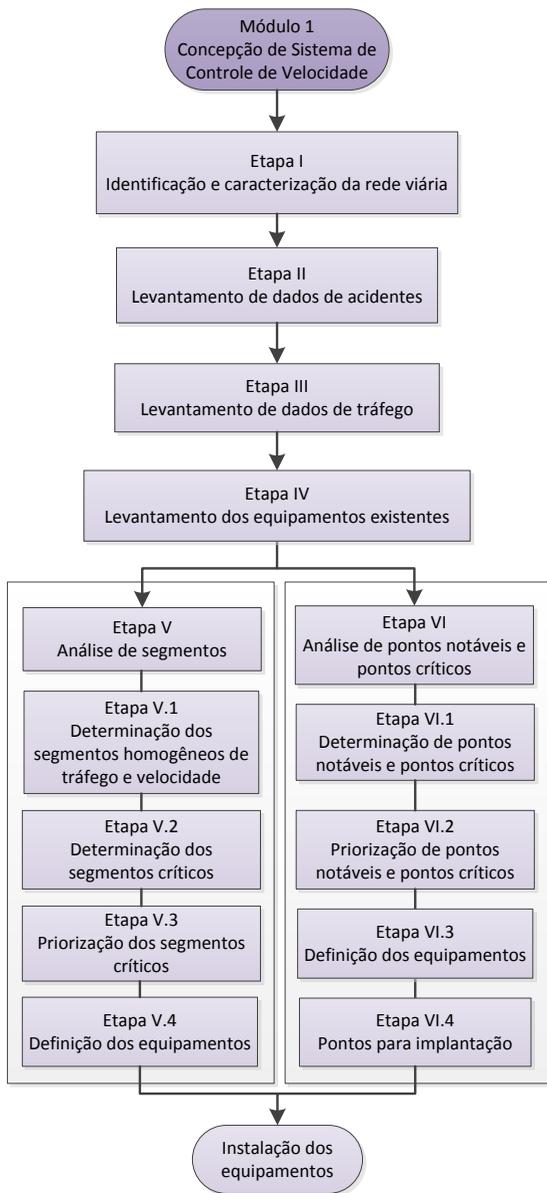


Fonte: Autora (2015)

Esta tese tem como enfoque o Módulo 1 – Segurança Viária. Sendo assim, sugere-se o aprofundamento do Módulo 2 - Tráfego e Módulo 3 - Ambiental em futuros trabalhos acadêmicos.

Os procedimentos propostos para implantação de um sistema de controle de velocidade em rodovias estão representados esquematicamente na Figura 54. Cada uma das etapas estão descritas nos próximos itens da tese.

Figura 54 - Etapas propostas para concepção de sistema de controle de velocidade

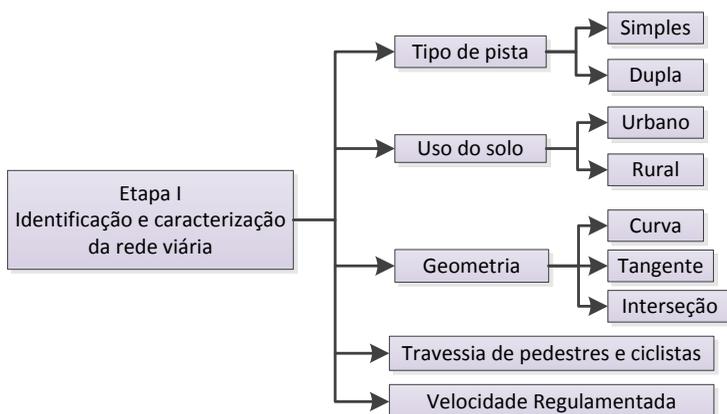


5.1.1 Etapa I - Identificação e caracterização da rede viária

O método buscou contemplar situações reais vivenciadas no dia-a-dia dos setores de operações rodoviárias dos órgãos responsáveis pelas rodovias brasileiras. Inicialmente, deve-se definir a rede viária a ser analisada. Esta definição irá variar de acordo com a jurisdição de cada órgão de trânsito, podendo ser uma malha rodoviária federal, estadual ou municipal ou mesmo uma rodovia específica.

Após esta definição, faz-se a caracterização da área de estudo, incluindo características físicas e operacionais da rodovia, apresentadas na Figura 55.

Figura 55 - Etapa I - Identificação e caracterização da rede viária



Fonte: Autora (2015)

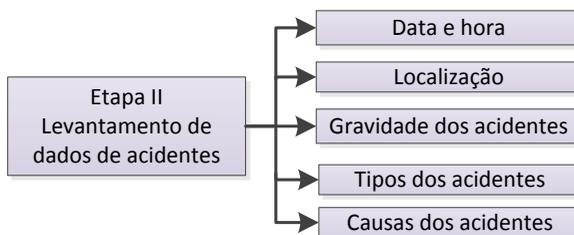
A caracterização da rede viária deve contemplar os seguintes itens:

- a) **Tipo de pista, de acordo número de faixas existentes na plataforma para circulação de veículos, classificadas em:**
 - Simples (S): 1 faixa por sentido;
 - Dupla (D): mais que 1 faixa por sentido.
- b) **Uso do solo observado na área lindeira à rodovia, classificado entre:**

- Urbano (U): Quando inseridos dentro do perímetro urbano de municípios ou áreas urbanizadas isoladas;
 - Rural (R): Quando fora de áreas urbanas.
- c) Geometria dos trechos da rodovia classificados entre:**
- Curvas horizontais e verticais;
 - Tangentes;
 - Interseção ou acesso
- d) Presença de pedestres e/ou ciclistas na rodovia, podendo ser caracterizada:**
- Ao longo da rodovia;
 - Transversal à rodovia.
- e) Velocidade regulamentada**
- Velocidade regulamentada definida ao longo da rodovia.

5.1.2 Etapa II - Levantamento de dados de acidentes

Os dados de acidentes são fundamentais para todas as atividades relacionadas à segurança viária e são essenciais para o diagnóstico dos problemas motivadores dos acidentes. As informações sobre os acidentes ocorridos permitem reconhecer a dimensão e as características do problema a enfrentar. Permitem ainda que seja feita a avaliação da eficácia das ações implementadas para a redução de acidentes (Chagas et al, 2012). Os dados de acidentes necessários para a Etapa II da fase de concepção de um sistema de controle de velocidade está apresentada na Figura 56.



Fonte: Autora (2015)

O método propõe a análise dos dados de acidentes de trânsito no intuito de avaliar as condições de segurança dos trechos em que se pretende implementar um sistema de controle de velocidade. Deve-se considerar um período de referência para análise, de no mínimo um ano, sendo desejável um período de 3 anos.

Estas análises permitirão identificar, principalmente, a tipologia dos acidentes que acarretam em acidentes mais graves nos segmentos (com mortos e/ou feridos). Além disso, será possível realizar outras análises estatísticas dos dados de acidentes, a fim de se obter elementos que permitam caracterizar os locais ou trechos, de acordo com:

- Tipos dos acidentes ocorridos;
- Gravidade dos acidentes;
- Distribuição temporal dos acidentes;
- Entre outras análises.

Deste modo, as análises permitirão verificar se existe uma concentração de acidentes em um determinado ponto de rodovia ou se os acidentes estão distribuídos ao longo de trechos de média extensão. Ainda é possível analisar se há variação temporal na ocorrência de acidentes, ou seja, se há uma concentração de acidentes em determinada época do ano, como nas férias de verão ou período de safra agrícola em determinada rodovia. Essas avaliações irão auxiliar na definição do tipo de controle de velocidade a ser instalado em cada situação.

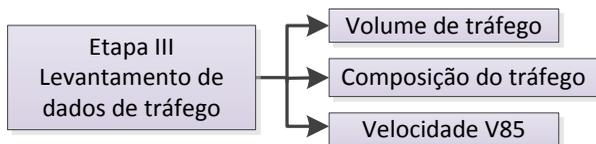
É importante ressaltar que os bancos de dados de acidentes de trânsito são baseados nos boletins de ocorrência, os quais podem possuir informações que não refletem a realidade em alguns pontos, pelos seguintes motivos: erros de preenchimento, ausência de informações relevantes, imprecisão na localização dos acidentes, etc. Alguns destes fatores poderiam ser facilmente solucionados com o georrefereciamento

dos acidentes de trânsito ou uso de dispositivos eletrônicos para preenchimento dos boletins de ocorrência no local do acidente.

5.1.3 Etapa III - Levantamento de dados de tráfego

Devem ser realizados levantamentos de dados de volume e composição de tráfego e dados de velocidade, obtidos através de pesquisa de tráfego, como mostra a Figura 57.

Figura 57 - Etapa III - Levantamento de dados de tráfego



Fonte: Autora (2015)

Para a obtenção de informações de volume e velocidade nos diversos segmentos homogêneos da rede, o ideal é que a coleta dos dados seja feita através de equipamentos automáticos fixos, utilizando tecnologias apresentadas no item 2.5.2 desta tese. A partir da utilização desses equipamentos, podem se obter dados contínuos, para todas as horas do dia, para todos os dias do ano.

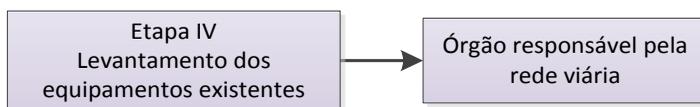
Visto que na maior parte da malha rodoviária brasileira não existem grandes referências de volumes atuais, em função de que programas como o Programa Nacional de Contagem de Tráfego – PNCT estarem retomando suas atividades após longos anos sem coleta de dados, em muitas rodovias não é possível estipular composição e variações do tráfego. Desta forma, poderão ser realizadas coletas que supram as necessidades e confiabilidades necessárias para os estudos de segurança viária. A duração das contagens deverá ser de 7 (sete) dias, com 24 horas por dia de monitoramento. Tal procedimento já é realizado no Programa Nacional de Segurança e Sinalização de Rodovias – Programa BR-Legal, por exemplo.

5.1.4 Etapa IV - Levantamento dos equipamentos existentes

O levantamento dos equipamentos existentes é necessário para uma avaliação posterior, onde serão comparados os pontos prioritários

definidos através do método proposto nesta tese. Tal informação pode ser obtida junto ao órgão ou setor responsável pela rede viária em questão, como indica a Figura 58.

Figura 58 - Etapa IV - Levantamento dos equipamentos existentes



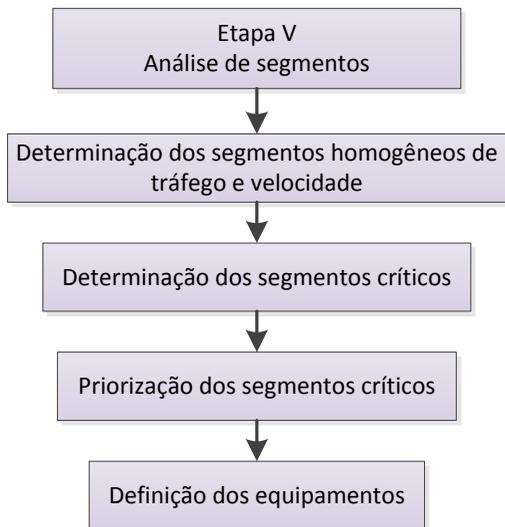
Fonte: Autora (2015)

Isto se faz necessário para avaliação do número de equipamentos a serem instalados na rede viária analisada, bem como distribuir os recursos disponíveis entre outros pontos definidos como pontos não prioritários. Um maior detalhamento será apresentado na Etapa VI.4 da Fase I do método proposto.

5.1.5 Etapa V - Análise de segmentos

O método proposto prevê a concepção de um sistema de controle de velocidade sob duas óticas: controle de velocidade pontual e controle de velocidade média em um trecho. Esta última está relacionada à criação de zonas de controle de velocidade com foco na segurança viária, que busca controlar a velocidade dos veículos através da velocidade média com que estes percorrem um determinado segmento homogêneo de rodovia. Sendo assim, esta etapa busca analisar segmentos da rede viária, com o objetivo de priorizar segmentos, a partir da definição de segmento crítico, para a implementação do sistema de controle de velocidade, como mostra a Figura 59.

Figura 59 - Etapa V - Análise de segmentos



Fonte: Autora (2015)

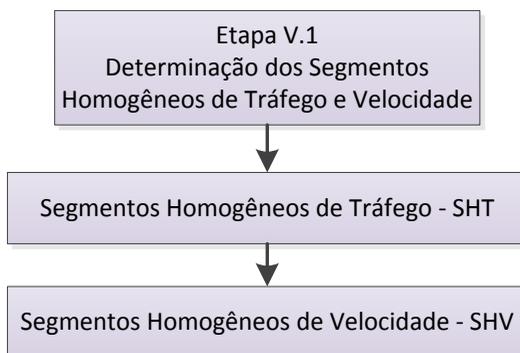
A seguir estão apresentados todos os procedimentos previstos na Etapa V.

5.1.5.1 Etapa V.1 - Determinação dos segmentos homogêneos de tráfego e velocidade

A partir da caracterização da rede viária, obtida na Etapa I, além da caracterização do tráfego, obtida a partir da Etapa III – Levantamento de dados de tráfego, é possível determinar os segmentos homogêneos de tráfego (SHT) e os segmentos homogêneos de velocidade (SHV). Um segmento homogêneo de tráfego é caracterizado por possuir o mesmo volume de tráfego em toda a sua extensão, ou seja, sem contribuição significativa de tráfego ao longo do segmento. O mesmo conceito vale para os segmentos homogêneos de velocidade, ou seja, tal segmento deve ter a mesma velocidade regulamentada em toda a sua extensão.

Após a análise dos segmentos homogêneos de tráfego da rede viária analisada, deve-se partir para a análise das velocidades regulamentadas, compatibilizado as informações encontradas, ou seja, um determinado segmento deve homogêneo tanto em relação ao tráfego quanto à velocidade regulamentada, como indica a Figura 60.

Figura 60 - Etapa V.1 - Determinação dos segmentos homogêneos de tráfego e velocidade



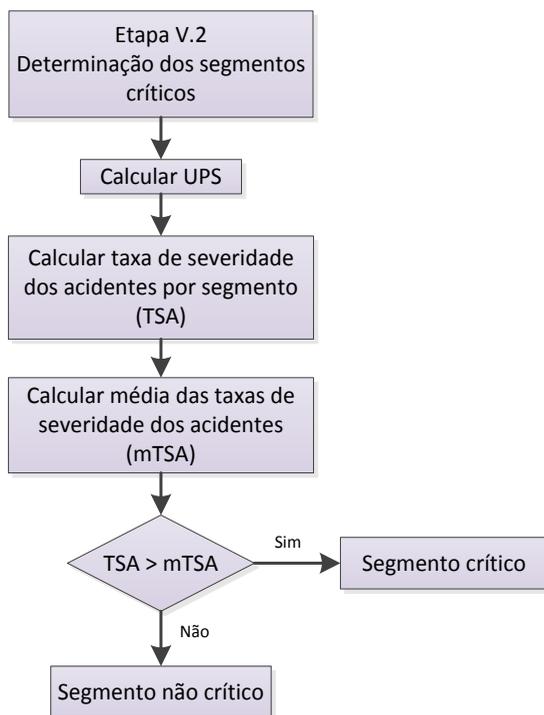
Fonte: Autora (2015)

Tal procedimento é importante para operacionalizar a implantação do conceito de controle de velocidade média em um trecho. Além disso, sempre que houver alteração significativa nas condições físicas ou operacionais de um trecho das rodovias ao longo do tempo, deve ser analisada a segmentação da rodovia.

5.1.5.2 Etapa V.2 - Determinação dos segmentos críticos

A Etapa V do método tem como objetivo a determinação de trechos críticos e não crítico em uma rede viária. Para isto, propõe-se a utilização do método proposto para tratamento de locais críticos de acidentes de trânsito (DENATRAN, 1987), utilizando a técnica da taxa de severidade dos acidentes, bem como a técnica da severidade dos acidentes, por meio da Unidade Padrão de Severidade, expresso em UPS, para determinar os locais críticos a serem priorizados. A Figura 61 apresenta os procedimentos a serem adotados nesta etapa do método.

Figura 61 - Etapa V.2 - Determinação dos segmentos críticos



Fonte: Autora (2015)

A técnica da severidade dos acidentes é calculada através do número UPS, que corresponde à soma do número de acidentes ocorridos em diferentes gravidades, sendo definido conforme a Equação 1, apresentada no item 2.4.2.1 deste trabalho.

Sabendo-se que o número de acidentes é proporcional ao volume de tráfego que circula em uma rodovia, foi adotada a Equação 2 para o cálculo da taxa (T) de acidente nos segmentos da rodovia, apresentada no item 2.4.2.1 deste trabalho.

A identificação dos trechos críticos, nesse método, segue os seguintes procedimentos:

- Calcular a média das taxas de severidade dos acidentes de todos os segmentos homogêneos e compara-se com a taxa de severidade de acidente em cada segmento;

- Após a comparação, os segmentos que apresentarem taxas maiores que a taxa média serão denominados críticos.

A metodologia do Programa Pare para identificação de trechos críticos (MT, 2002) é estruturada nesses dois procedimentos, com adaptações necessárias às necessidades da maioria dos municípios brasileiros. Desta forma, são previstas situações referenciais que irão balizar os procedimentos para identificação dos locais críticos, inclusive a ausência de dados de volume de tráfego, situação comum no cenário brasileiro.

No caso de ausência desses dados, por exemplo, o método de prevê a simplificação das etapas de análise (MT, 2002). Após o cálculo da severidade de cada um dos locais analisados, deve ser calculada a média de severidade do conjunto de locais analisados, sendo que locais cujo número UPS encontrar-se acima do valor médio de UPS, é considerado crítico, devendo ser priorizado na implantação de um sistema de controle de velocidade.

Estes procedimentos visam uniformizar os critérios para definição dos trechos onde serão implantados os sistemas de controle de velocidade, buscando justificar tecnicamente a necessidade de equipamentos em determinados trechos de rodovia.

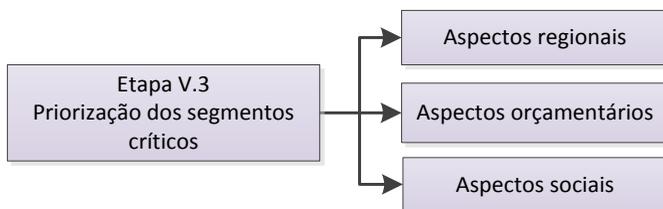
5.1.5.3 Etapa V.3 - Priorização dos segmentos críticos

Cada órgão rodoviário deve possuir um programa de segurança capaz de orientar a aplicação dos recursos disponíveis, no intuito de proporcionar o máximo de benefícios, tanto para novas rodovias, quanto para melhorias nas rodovias existentes.

Uma ordenação capaz de identificar as prioridades dos diferentes trechos em ordem decrescente de importância se faz necessária para que os recursos disponíveis possam ser aplicados, em primeiro lugar, aos trechos com maior deficiência na segurança viária.

Sendo assim, após a determinação dos segmentos críticos da rede viária analisada, cabe uma análise em relação a aspectos regionais, sociais e orçamentários, como mostra a Figura 62. Em uma rede viária que envolva diferentes municípios ou regiões, por exemplo, cabe aos técnicos e gestores a definição de critérios específicos para cada estudo, de forma a distribuir melhor os recursos disponíveis.

Figura 62 - Etapa V.3 - Priorização dos segmentos críticos



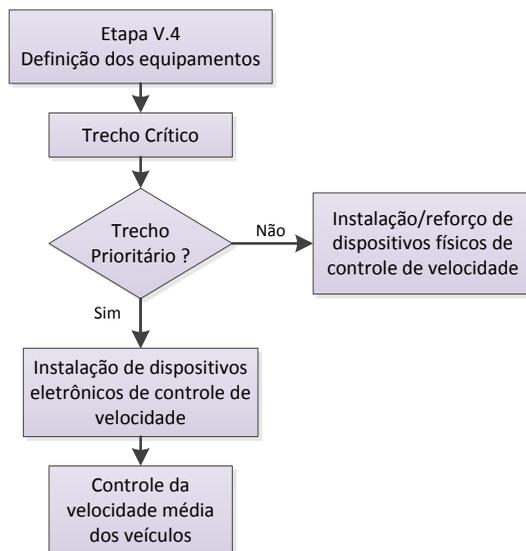
Fonte: Autora (2015)

5.1.5.4 Etapa V.4 - Definição dos equipamentos

Com base na revisão da literatura e na análise dos equipamentos de controle de velocidade em operação em rodovias federais brasileiras, apresentadas no Capítulo 4 desta tese, foram definidos alguns critérios para definição do tipo de equipamento a ser usado em determinadas situações. Para o controle de velocidade em trechos, o método prevê a implementação de controle da velocidade média dos veículos. A partir da classificação dos trechos homogêneos críticos, o método propõe a seguinte análise, apresentada na Figura 63.

De acordo com a Figura 63, em trechos críticos não prioritários, o método propõe a instalação ou reforço dos dispositivos físicos de controle de velocidade, apresentados no item 2.5.2 desta tese. Tal solução é considerada uma solução de engenharia de baixo custo, que pode ser implementada no intuito de melhorar as condições de segurança em trechos não priorizados. Esta ação deve estar focada no reforço da sinalização, principalmente da sinalização vertical de advertência e regulamentação.

Figura 63 - Etapa V.4 - Definição dos equipamentos



Fonte: Autora (2015)

Em relação aos trechos prioritários, o método propõe a adoção do conceito de controle de velocidade média dos veículos em um trecho de rodovia. Tal método de controle de velocidade já está sendo adotado em diversos países, onde se observou um incremento na segurança viária, como apresentado no item 3.1 desta tese.

O princípio de funcionamento de controle da velocidade pela média no trecho consiste na identificação do veículo na entrada e na saída do trecho, cálculo da velocidade média desenvolvida e, por fim, a aplicação de multa aos infratores, independentemente do ponto da via onde ocorreu o excesso de velocidade.

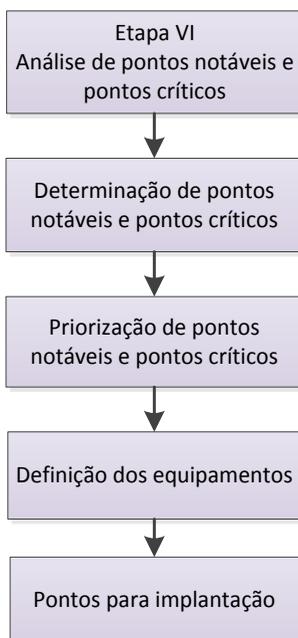
Conforme apresentado na revisão de literatura, no trecho a ser fiscalizado devem ser instaladas câmeras do tipo OCR (*Optical Character Recognition*), que fazem a captação e reconhecimento das imagens das placas dos veículos no início e no final do trecho a ser controlado. Através dos tempos inicial e final com que a placa de um veículo é captada, bem como da distância entre estes pontos, é possível verificar se o veículo trafegou ou não acima da velocidade regulamentada.

No futuro, com a implantação do Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos – SINIAV em todo o território nacional, a tecnologia de identificação de veículos por radiofrequência deste sistema poderá ser adotada também no controle de velocidade média dos veículos. De acordo com a Resolução nº412, de 9 de agosto de 2012 (DENATRAN, 2012), o SINIAV é composto por dispositivo de identificação eletrônico denominado “placa eletrônica” instalado no veículo, antenas leitoras, centrais de processamento e sistemas informatizados. A placa eletrônica será individualizada e terá um número de série único e inalterável para cada veículo.

5.1.6 Etapa VI - Análise de pontos notáveis e pontos críticos

Como mencionado na Etapa V, o método proposto prevê a concepção de um sistema de controle de velocidade pontual e de velocidade média em um trecho. Em relação ao controle de velocidade pontual, tal etapa busca determinar e priorizar pontos críticos e pontos notáveis em uma rede rodoviária. A seguir estão apresentados todos os procedimentos previstos na Etapa VI, conforme apresenta a Figura 64.

Figura 64 - Etapa VI – Análise de pontos



Fonte: Autora (2015)

5.1.6.1 Etapa VI.1 - Determinação de pontos notáveis e pontos críticos

De acordo com Bocanegra (2006), um estudo técnico que justifique o local que se pretende instalar um equipamento de controle de velocidade é necessário de modo a evitar o questionamento em relação à “indústria da multa”. Tal estudo é necessário tanto antes da instalação dos equipamentos quanto após, com o objetivo de avaliar o desempenho dos equipamentos em relação ao número e gravidade dos acidentes e à redução da velocidade, o que caracteriza um desempenho satisfatório.

Nesta etapa do método, deve ser dada atenção especial a pontos específicos da rede viária analisada, definidos nesta tese como pontos notáveis. Tais pontos incluem escolas, hospitais, postos de fiscalização, além de trechos com travessia urbana, ou seja, locais de circulação de pedestres que requeiram uma redução de velocidade pontual. Isto se faz

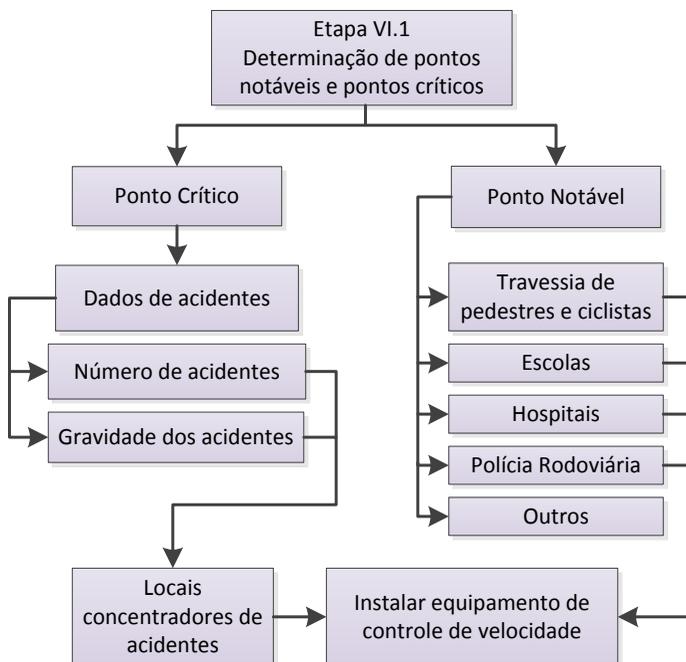
necessário uma vez que estes pontos requerem uma fiscalização mais ostensiva.

Além dos pontos notáveis, o método proposto prevê a determinação de pontos críticos, ou seja, locais concentradores de acidentes, através da análise do histórico de acidentes na rede viária analisada e/ou observações de campo. Segundo Brandão (2007), os métodos numéricos são os mais simples e de mais fácil aplicação, sendo por esse motivo os mais utilizados na prática ao selecionar os locais concentradores de acidentes.

Em relação à técnica do número de acidentes, esta considera a quantidade de acidentes de forma absoluta, sem relacioná-los a qualquer outra variável, somente o número de ocorrências em um ponto de via, em um período de tempo estabelecido, definindo-se como locais problemáticos aqueles com quantidade de acidentes superior a um valor pré- estabelecido.

No método proposto, os locais concentradores são classificados em ordem decrescente da frequência dos acidentes (PIARC, 2003), tendo como base uma listagem de todos os locais concentradores de acidentes onde ocorreram 8 (oito) ou mais acidentes por ano. A Figura 65 apresenta o procedimento para a análise destes pontos.

Figura 65 - Etapa VI.1 - Determinação de pontos notáveis e pontos críticos



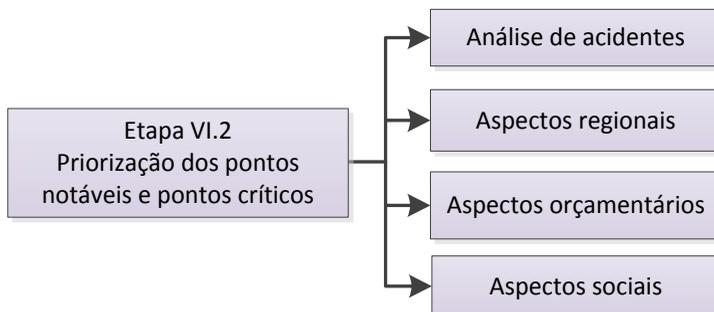
Fonte: Autora (2015)

Além do número de acidentes registrados nesses pontos, a gravidade dos acidentes também deve ser analisada por meio do cálculo da UPS, de forma a priorizar os pontos onde ocorrem os acidentes de maior gravidade.

5.1.6.2 Etapa VI.2 - Priorização de pontos notáveis e pontos críticos

A priorização de pontos notáveis e pontos críticos, assim como na priorização de segmentos críticos, apresentada na Etapa V.2 deste método, pode levar em conta aspectos regionais e sociais da rede viária analisada, a serem discutidos pelos técnicos e gestores responsáveis, como mostra a Figura 66.

Figura 66 - Etapa VI.2 - Priorização de pontos notáveis e pontos críticos



Fonte: Autora (2015)

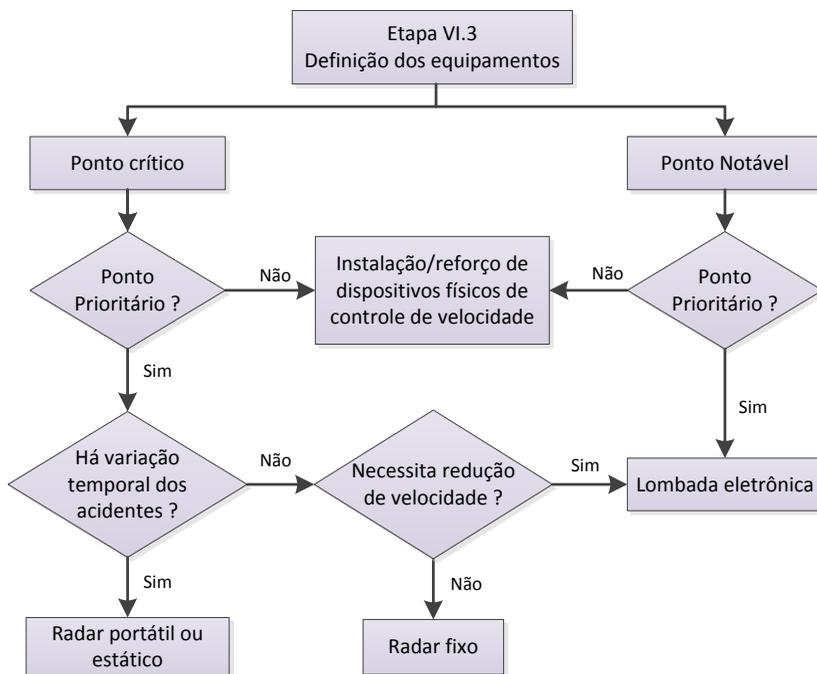
A determinação de pontos notáveis deve ser cuidadosamente analisada com base no histórico de acidentes e conflitos de tráfego, ou ainda nos registros de reclamações ou denúncias da comunidade para o órgão de trânsito responsável pelo trecho em questão sobre desrespeitos aos limites de velocidade em locais específicos.

No caso dos pontos críticos e pontos notáveis, para a priorização destes pontos, deve-se considerar o histórico de acidentes ocorridos, principalmente em relação à gravidade dos mesmos. Além disso, devem ser analisados os tipos dos acidentes ocorridos, bem como suas causas, apresentadas nos boletins de ocorrência. Esta análise se faz necessária no intuito de avaliar se o excesso de velocidade é o principal fator contribuinte para a ocorrência de acidentes ou o agravante na severidade dos mesmos, justificando assim o controle da velocidade em determinado ponto da rodovia.

5.1.6.3 Etapa VI.3 - Definição dos equipamentos

A seguir serão apresentados os critérios para a definição dos equipamentos a serem utilizados nos pontos críticos e pontos notáveis de uma rede viária. A Figura 67 apresenta um fluxograma proposto para a Etapa VI.3 do método de concepção de sistema de controle de velocidade, que define os equipamentos ou dispositivos de controle de velocidade a serem adotados.

Figura 67 - Etapa VI.3 - Definição dos equipamentos



Fonte: Autora (2015)

A seguir serão apresentados os procedimentos para a definição dos equipamentos a serem instalados em cada uma das situações apresentadas na Figura 67.

a) Pontos Críticos

Em relação à definição dos tipos de equipamentos a serem utilizados em pontos críticos prioritários, foram definidos alguns critérios. Um destes critérios é a análise da distribuição da ocorrência dos acidentes ao longo do ano. Caso haja uma variação temporal na ocorrência dos acidentes, ou seja, caso haja uma concentração de acidentes em determinados períodos ou meses do ano, como, por exemplo, nos meses de férias, e ausência de ocorrências de acidentes em outros períodos, o método prevê a utilização de equipamentos não fixos, de caráter

temporário. Dentre esses controladores de velocidade, propõe-se a utilização de equipamentos do tipo estático, que podem ser instalados em veículo parado ou em suporte apropriado, ou ainda equipamentos do tipo portátil, direcionado manualmente para o veículo alvo.

Os equipamentos de controle de velocidade do tipo fixo são considerados equipamentos discretos, instalados em local definitivo e em caráter permanente. No método proposto neste trabalho, os pontos onde estes equipamentos forem instalados devem ser definidos como críticos e prioritários. Tais equipamentos devem ser utilizados prioritariamente em trechos sem ocupação do solo lindeiro, ou seja, em trechos rurais, sem a travessia de pedestres que requeiram uma maior atenção dos motoristas.

Caso o ponto crítico apresente uma situação em que seja necessária uma redução da velocidade, devem ser instalados equipamentos redutores de velocidade, ou seja, lombadas eletrônicas.

De acordo com a Figura 67, caso os pontos críticos ou pontos notáveis não sejam definidos como prioritários, deve-se buscar uma solução de engenharia de baixo custo, no intuito de melhorar as condições de segurança da em tais pontos. Tal solução está baseada na instalação ou reforço dos dispositivos físicos de controle de velocidade, apresentados no item 2.5.2 desta tese, principalmente em relação à sinalização nos trechos antecedentes a tais pontos.

b) Pontos Notáveis

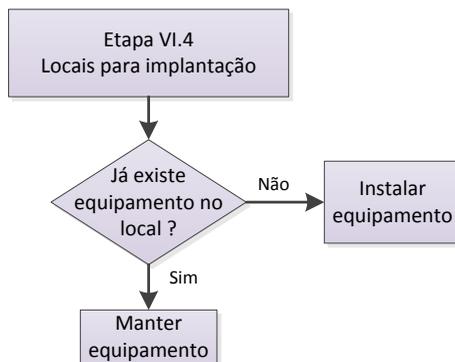
Conforme já apresentado no item 2.5.2, os equipamentos de controle de velocidade em uma rodovia podem ser classificados em ostensivos ou não ostensivos (discretos). Os equipamentos redutores de velocidade ostensivos (lombadas eletrônicas), destinados a limitar a velocidade máxima em locais pontuais da rodovia, devem ser utilizados onde é essencial obter atenção plena dos motoristas em relação à velocidade máxima permitida, através de projetos e sinalização com visibilidade adequada. Tal premissa foi adotada para a definição de que os pontos notáveis da rodovia necessitam de redução de velocidade, uma vez que usuários mais vulneráveis da rodovia se fazem mais presentes nesses pontos.

5.1.6.4 Etapa VI.4 - Locais para implantação

A partir das informações obtidas na etapa IV – Levantamento dos equipamentos existentes, juntamente com a priorização dos pontos

notáveis e críticos apresentados na etapa VI.2, deve-se avaliar a necessidade de implantação de equipamentos. Isto é necessário em função de que pontos considerados prioritários já podem ter sido contemplados com equipamentos de controle de velocidade. Neste caso, o órgão responsável pelo trecho deve manter tal equipamento operando, como mostra a Figura 68.

Figura 68 - Etapa VI.4 - Locais para implantação



Fonte: Autora (2015)

Em situações em que o ponto não é considerado crítico pelo método proposto, cabe ao órgão a decisão de remover ou manter os equipamentos instalados nestes locais. Nestes casos, recomenda-se a elaboração de estudos do tipo antes e depois para avaliar o comportamento dos acidentes em um período antes e após o início de operação dos equipamentos. Esta questão também envolve aspectos relacionados a contratos com empresas prestadores desses serviços, principalmente do período de vigência dos mesmos.

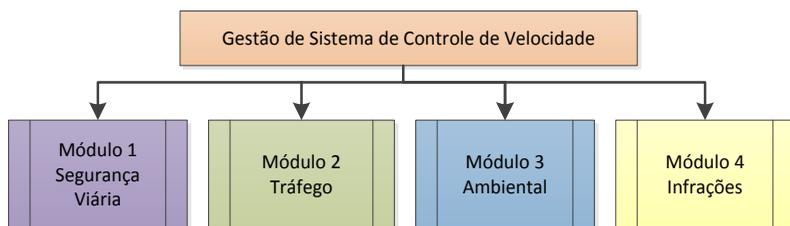
Estudos do tipo antes e depois devem estar relacionados à data de implantação do sistema de controle de velocidade. De acordo com diversos autores, a análise dos acidentes deve ser feita considerando uma zona de influência de 500 metros antes e 500 metros após o local onde o equipamento está instalado, no caso de controle de velocidade pontual (Framarim et al, 2003).

Desta forma, o órgão responsável pode analisar se houve uma redução no número e gravidade dos acidentes após a instalação dos equipamentos e tomar a melhor decisão do ponto de vista técnico.

5.2 FASE II - MÉTODO PARA GESTÃO DE SISTEMA DE CONTROLE DE VELOCIDADE

Uma vez satisfeitos os critérios de concepção dos sistemas de controle de velocidade, deve-se prever a avaliação de sua operação, no intuito de promover melhorias. O método de gestão também é composto por módulos, sendo eles: segurança viária, tráfego, ambiental e infrações, como mostra a Figura 69.

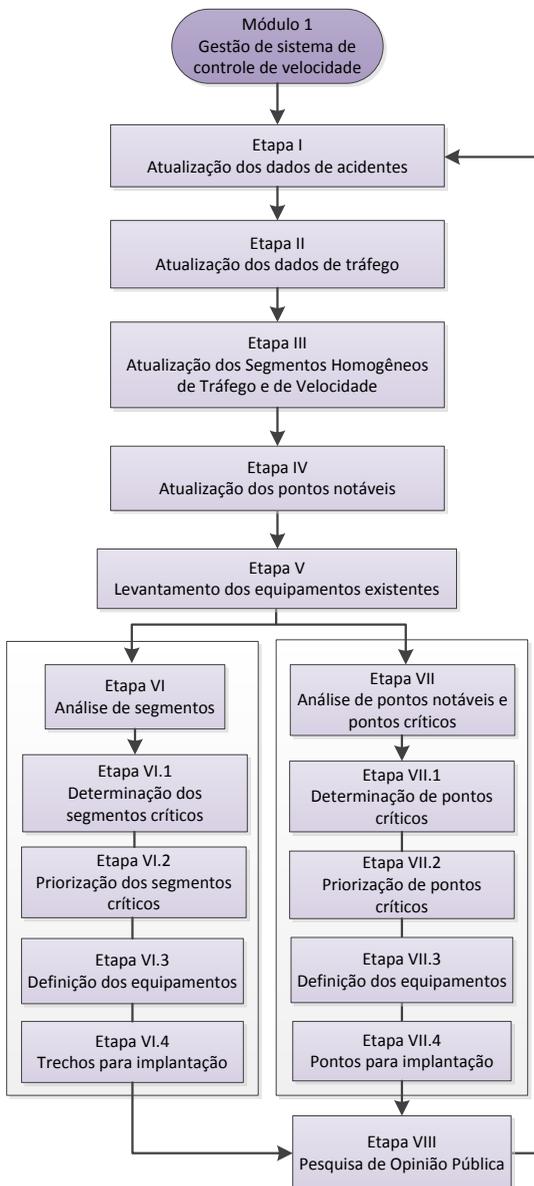
Figura 69 - Fase II - Gestão de sistema de controle de velocidade



Fonte: Autora (2015)

Assim como no método de concepção de sistema de controle de velocidade, o Módulo 1 Segurança Viária terá maior enfoque na Fase II do método proposto. Para a avaliação da eficácia do sistema de controle de velocidade em relação à segurança viária, o método propõe algumas etapas que incluem a atualização dos dados obtidos na Fase I - Concepção de Sistema de Controle de Velocidade, tais como a atualização dos dados de acidentes, dados de tráfego, atualização dos segmentos homogêneos de tráfego e velocidade, atualização de pontos notáveis, além do levantamento de equipamentos existentes. Após estas etapas, o método prevê análises de segmentos e de pontos críticos, assim como realizado na Fase I. Por fim, o método propõe uma pesquisa de opinião pública em relação ao controle de velocidade, bem como campanhas de conscientização em relação à velocidade e a ocorrência de acidentes. O fluxograma do método proposto está apresentado na Figura 70.

Figura 70 - Etapas propostas para gestão de sistemas de controle de velocidade



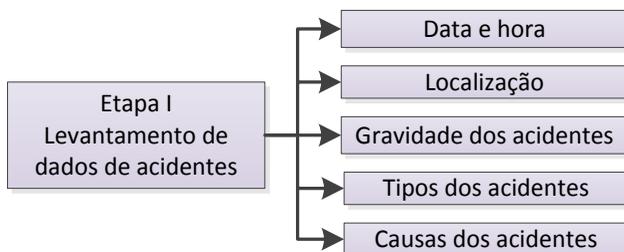
Fonte: Autora (2015)

A seguir serão detalhadas cada uma das etapas do método proposto para gestão de sistemas de controle de velocidade.

5.2.1 Etapa I - Atualização dos dados de acidentes

A primeira etapa para gestão de sistemas de controle de velocidade corresponde ao levantamento de dados necessários para a avaliação da eficácia dos sistemas, como mostra a Figura 71. Esse banco de dados inclui histórico de acidentes ocorridos um ano após o início de operação do sistema de controle de velocidade.

Figura 71 - Etapa I - Levantamento de dados de acidentes



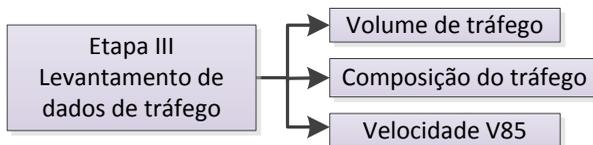
Fonte: Autora (2015)

De acordo com o art. 24, inciso IV, do CTB, compete aos órgãos e entidades executivos de trânsito dos municípios coletarem dados estatísticos e elaborar estudos sobre os acidentes de trânsito e suas causas.

5.2.2 Etapa II - Atualização dos dados de tráfego

Assim como na Fase I – Concepção de sistema de controle de velocidade, devem ser realizados levantamentos de dados volume de tráfego, composição de tráfego e de velocidade no período de um ano após o início de operação do SCV, como mostra a Figura 72.

Figura 72 - Etapa III - Levantamento de dados de tráfego



Fonte: Autora (2015)

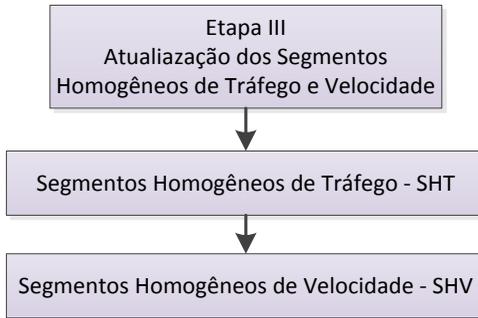
Nesta etapa, tais dados podem ser obtidos através dos próprios equipamentos instalados na rede viária ou através de pesquisas de tráfego, em locais não contemplados com o sistema.

5.2.3 Etapa III - Atualização dos segmentos homogêneos de tráfego e de velocidade

De acordo com o conceito de segmento homogêneo de tráfego e de velocidade apresentado na fase de concepção do SCV, tal segmento é caracterizado por possuir o mesmo volume de tráfego em toda a sua extensão, ou seja, sem contribuição de tráfego ao longo do segmento, além de ter a mesma velocidade regulamentada em toda a sua extensão.

Desta forma, sempre que houver alteração significativa nas condições físicas ou operacionais de um trecho das rodovias ao longo do tempo, tais como a construção de uma nova rodovia que altere os volumes de tráfego da rede analisada, ou ainda se houver uma alteração nos limites de velocidade em algum trecho da rodovia, estas condições devem ser atualizadas e, assim, realizar uma nova segmentação homogênea de tráfego e velocidade da rodovia, como mostra a Figura 73.

Figura 73- Atualização dos segmentos homogêneos de tráfego e velocidade

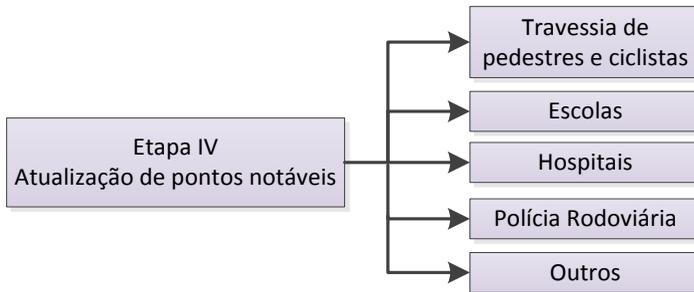


Fonte: Autora (2015)

5.2.4 Etapa IV - Atualização dos pontos notáveis

Nesta etapa do método, deve ser realizada uma atualização dos pontos notáveis da rodovia, apresentados na Figura 74.

Figura 74 - Atualização dos pontos notáveis



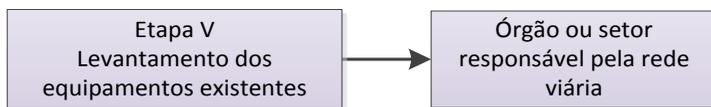
Fonte: Autora (2015)

Isto se faz necessário, uma vez que ao longo do tempo estes pontos podem sofrer alterações, como por exemplo, podem ser construídas novas escolas, obras que contribuam para o aumento do fluxo de pedestres e ciclistas ou que requeiram uma redução de velocidade pontual. Desta forma, cabe ao órgão responsável identificar novos pontos notáveis na rodovia.

5.2.5 Etapa V - Levantamento dos equipamentos existentes

As informações relativas aos equipamentos em operação na rodovia podem ser obtidas junto ao órgão responsável pela rede viária em questão, como indica a Figura 58.

Figura 75 - Etapa V - Levantamento dos equipamentos existentes



Fonte: Autora (2015)

O levantamento dos equipamentos instalados na fase de concepção do SCV é necessário no intuito de avaliar se tais equipamentos devem ser mantidos ou relocados, a serem definidos em etapas posteriores da Fase II.

5.2.6 Etapa VI - Análise de segmentos

Nesta etapa do método de gestão do SCV, busca-se reavaliar a rede viária com foco na segurança viária. Desta forma, deve-se identificar os segmentos críticos, conforme o método de segmentos críticos, seguindo os mesmos procedimentos apresentados na fase de concepção, como mostra a Figura 76.

Figura 76 - Etapa VI - Análise dos segmentos



Fonte: Autora (2015)

Na análise de segmentos na fase de gestão, deve-se avaliar os trechos já contemplados com equipamentos de controle de velocidade. Tal procedimento se faz necessário para que o gestor da rodovia possa avaliar os investimentos a serem realizados, mantendo os equipamentos em operação e/ou direcionando os recursos para outros pontos não priorizados anteriormente.

5.2.7 Etapa VII - Análise de pontos notáveis e pontos críticos

Assim como na fase de concepção do SCV, a análise de pontos da rodovia é importante para determinar os pontos críticos da rodovia após a instalação de equipamentos de controle de velocidade, obtendo assim uma avaliação da segurança viária da rede viária analisada. Desta forma, alguns procedimentos devem ser seguidos, conforme apresenta a Figura 77.

Figura 77 - Análise de pontos notáveis e pontos críticos



Fonte: Autora (2015)

Após a determinação de pontos críticos, ou seja, locais concentradores de acidentes, através da análise do histórico de acidentes na rede viária analisada, tais pontos devem ser priorizados, conforme descrito na fase de concepção do SCV. Através do levantamento de equipamentos já existente em pontos da rede viária analisada, bem como dos pontos críticos apontados pelo método, devem ser definidos os pontos a serem contemplados ou mantidos com equipamentos de controle de velocidade.

5.2.8 Etapa VIII - Pesquisa de opinião pública

O controle de velocidade em rodovias, solicitado muitas vezes por usuários vulneráveis da via, que o identificam como um fator de aumento da segurança viária, também é rejeitado por muitos motoristas, cuja voz é ampliada, muitas vezes, por parte da imprensa e da classe política. Foi criada, inclusive, a expressão “indústria de multas” que desqualifica o caráter disciplinador e educativo do sistema, acusando-o de ter como fim a arrecadação de receita (Caldeia, 2007).

Porém, a mesmo sistema de controle de velocidade é lembrado de forma positiva por estes atores quando ocorre algum acidente de trânsito

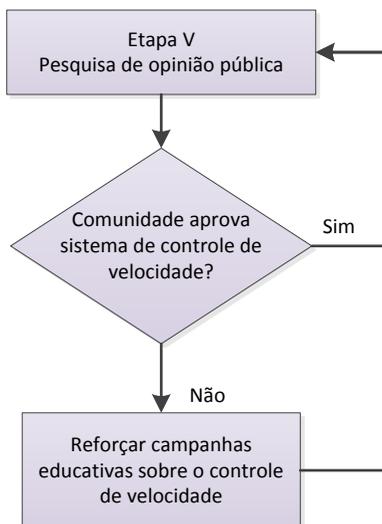
indubitavelmente associado à velocidade. E, então, os órgãos de trânsito, outrora criticados por fiscalizar, são declarados omissos pela ausência de fiscalização. Desta forma, o monitoramento de resultados em relação à segurança viária torna-se fundamental para garantir o sucesso do sistema e subsidiar campanhas educativas (Longo et al, 2009)

O método prevê a inclusão de pesquisas de opinião pública junto à comunidade lindeira e usuários em determinados trechos da rodovia com um SCV implantado, podendo manifestar suas preocupações e/ou opiniões a respeito dos controladores de velocidade. A transmissão ao público sobre o real objetivo dos sistemas de controle de velocidade é de extrema importância: salvar vidas.

Para garantia de bons resultados de um sistema de controle de velocidade e aceitação junto à população, as informações sobre o desempenho deste sistema devem ser mais difundidas. Assim, os usuários da rodovia terão uma informação mais ampla e clara, ajudando a definir melhor seu conceito com relação aos sistemas de controle de velocidade.

A Figura 78 apresenta o procedimento a ser adotado em relação à pesquisa de opinião pública a ser realizada em trechos com um sistema de controle de velocidade em operação. A proposta é que o órgão responsável pela rede viária estabeleça uma rotina de consulta à comunidade lindeira à rodovia, bem como aos usuários da rodovia, reforçando campanhas educativas sobre o controle de velocidade.

Figura 78 - Etapa V - Pesquisa de opinião pública



Fonte: Autora (2015)

As mudanças na compreensão e nas percepções dos usuários das vias a respeito da velocidade constituem uma medição importante do impacto de um sistema de controle de velocidade. Indicadores como o conhecimento dos usuários e das comunidades lindeiras às rodovias sobre os riscos associados a velocidades excessivas, comportamentos em relação a limites de velocidade e percepções da probabilidade de ser flagrado pela polícia por exceder limites de velocidade são indicadores do impacto da educação do público e das intervenções de controle de velocidade.

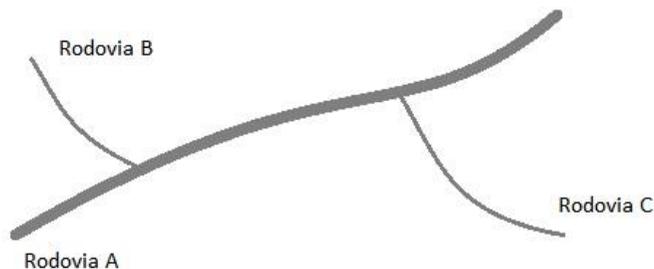
6 EXEMPLO ILUSTRATIVO PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE CONTROLE DE VELOCIDADE

Neste capítulo será apresentada uma aplicação do método proposto para concepção de sistemas de controle de velocidade. Pretende-se mostrar de forma clara a aplicabilidade de cada uma das etapas envolvidas na Fase I do método, incluindo a definição dos trechos prioritários, pontos críticos e pontos notáveis, além dos equipamentos a serem utilizados em cada situação. Para a aplicação do método, será analisada uma rodovia hipotética, sendo utilizados dados fictícios com a finalidade de aplicação plena do método proposto.

6.1 ETAPA I - IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REDE VIÁRIA

O trecho a ser analisado corresponde a uma rodovia hipotética, denominada Rodovia A, compreendido entre o km 0 e km 200. Tal rodovia recebe contribuições de tráfego das rodovias B e C, conforme indica a Figura 93.

Figura 79 - Identificação da rede viária a ser analisada



Fonte: Autora (2015)

A Rodovia A apresenta pista simples, com alguns segmentos urbanos, sendo predominantemente um trecho rural. A Tabela 18 apresenta os trechos a serem analisados neste estudo, incluindo o local de início e fim do trecho, km inicial e final, bem como a extensão de cada um dos trechos.

Tabela 18 - Trechos da Rodovia A em análise

Rodovia	Local de Início e Fim	Início (km)	Fim (km)	Extensão (km)	Superfície
A	Início Rodovia A - Entr. Rodovia B	0,00	44,00	44,00	Simple
A	Entr. Rodovia B - Entr. Rodovia C	44,00	146,00	102,00	Simple
A	Entr. Rodovia C - Fim Rodovia A	146,00	200,00	54,00	Simple

Fonte: Autora (2015)

6.2 ETAPA II - LEVANTAMENTO DE DADOS DE ACIDENTES

A caracterização dos acidentes de trânsito e do ambiente onde ocorrem é peça fundamental na análise de segurança viária de um determinado local, visando à prevenção e/ou redução da ocorrência desses acidentes, ou até mesmo a redução da gravidade com que eles ocorrem.

Nesta etapa do método de concepção de sistemas de controle de velocidade, devem ser realizados os levantamentos de dados referentes ao histórico de acidentes ocorridos na área de estudo junto à Polícia Rodoviária ou órgão responsável pela rodovia.

Uma das grandes dificuldades encontradas na realização de estudos sobre acidentes de trânsito é a falta de confiabilidade ou a inexistência dos dados necessários, em função da ausência de um sistema unificado para registro dos acidentes. Desta forma, recomenda-se a padronização dos boletins de acidente de trânsito entre os órgãos competentes para tal, com localização geográfica do local do acidente, possibilitando a elaboração de estudos comparativos. Além disso, é de extrema importância a unificação de um sistema de informações sobre acidentes em escala nacional. Assim, elimina-se a perda de informações em função de bancos de dados distintos, não raro até mesmo em rodovias federais, em função da existência de trechos sob jurisdição de polícia rodoviária estadual, por exemplo.

6.3 ETAPA III - LEVANTAMENTO DE DADOS DE TRÁFEGO

Os dados de volume médio diário anual de tráfego (VMDa) foram obtidos através dos estudos de tráfego com contagens de sete dias, obtendo assim o Volume Médio Diário Anual (VMDa) estimado.

Para a Rodovia A, foram realizadas três contagens, sendo o VMDa apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - VMDa por trechos da Rodovia A

Rodovia	Local de Início e Fim	Início (km)	Fim (km)	VMDa
A	Início Rodovia A - Entr. Rodovia B	0,0	44,0	6.370
A	Entr. Rodovia B – Entr. Rodovia C	44,0	146,0	5.040
A	Entr. Rodovia C – Fim Rodovia A	146,0	200,0	2.260

Fonte: Autora (2015)

6.4 ETAPA IV - LEVANTAMENTO DE EQUIPAMENTOS EXISTENTES

O levantamento de equipamentos existentes deve ser realizado juntamente ao órgão responsável pela rodovia analisada. Desta forma, na Rodovia A, três equipamentos do tipo ‘radar fixo’ encontram-se em operação, localizados de acordo com a Tabela 20.

Tabela 20 - Equipamentos existentes na Rodovia A

Equipamento existente	km
Equipamento 1	2,8
Equipamento 2	35,4
Equipamento 3	167,0

Fonte: Autora (2015)

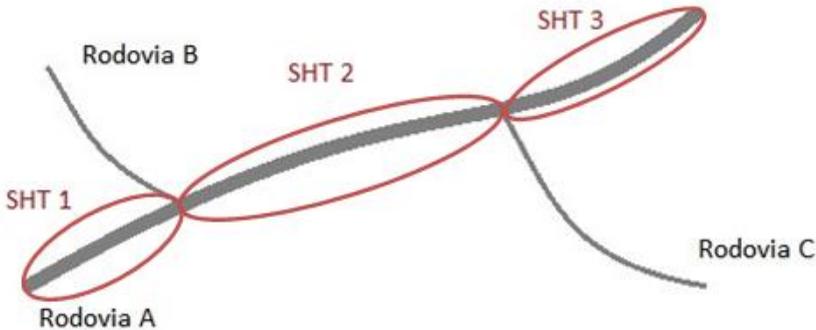
6.5 ETAPA V - ANÁLISE DE SEGMENTOS

A etapa de análise de segmentos visa definir critérios para a priorização de segmentos em relação à implantação de um SCV. Para isto, inicialmente os segmentos devem ser identificados como segmentos homogêneos de tráfego e de velocidade. Na sequência, deve ser realizada a determinação de segmentos críticos, bem como a priorização dos mesmos, definindo os equipamentos ao final desta etapa. A seguir serão apresentados os procedimentos executados.

6.5.1 Etapa V.1 - Determinação dos segmentos homogêneos de tráfego e de velocidade

A partir da caracterização da rede viária, obtida na Etapa I, é possível determinar os segmentos homogêneos de tráfego (SHT) e os segmentos homogêneos de velocidade (SHV). Um segmento homogêneo de tráfego é caracterizado por possuir o mesmo volume de tráfego em toda a sua extensão. Desta forma, a rede viária analisada pode ser dividida em três segmentos homogêneos de tráfego, conforme apresenta a Figura 80.

Figura 80 - Segmentos homogêneos de tráfego da Rodovia A



Fonte: Autora (2015)

A Tabela 21 apresenta a localização de início e fim de cada segmento homogêneo de tráfego na Rodovia A.

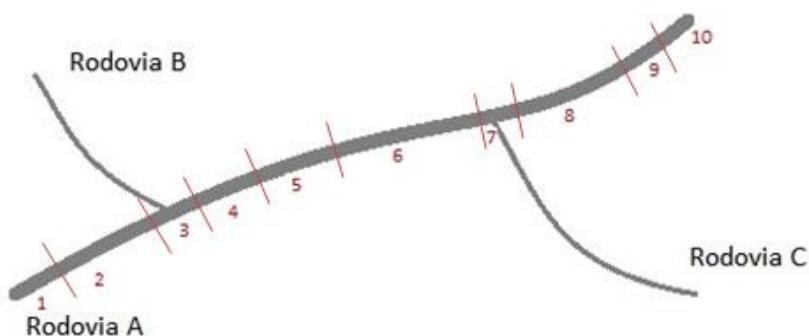
Tabela 21 - Localização dos segmentos homogêneos de tráfego na Rodovia A

SHT	Início (km)	Fim (km)
SHT 1	0,00	44,00
SHT 2	44,00	146,00
SHT 3	146,00	200,00

Fonte: Autora (2015)

O mesmo conceito vale para um segmento homogêneo de velocidade, ou seja, tal segmento deve ter a mesma velocidade regulamentada em toda a sua extensão. Para isto, deve ser realizado um levantamento junto ao órgão responsável pela rodovia ou através de um levantamento em campo, buscando avaliar as variações de velocidade regulamentada ao longo da rede viária analisada. A Figura 81 apresenta de forma esquemática os segmentos homogêneos de velocidade - SHV.

Figura 81 - Segmentos homogêneos de velocidade da Rodovia A



Fonte: Autora (2015)

A Tabela 22 apresenta a localização de início e fim de cada segmento homogêneo de velocidade.

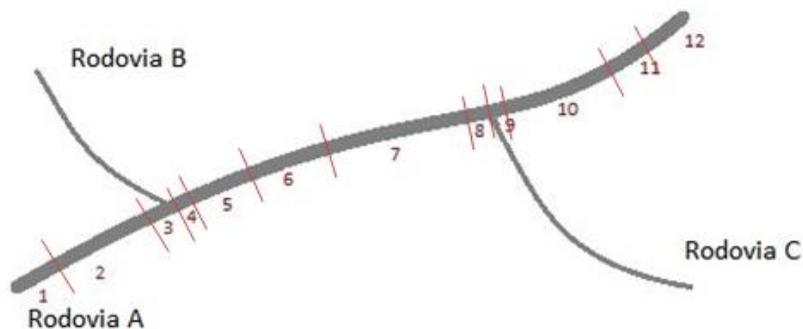
Tabela 22 - Localização dos segmentos homogêneos de velocidade na Rodovia A

SHV	Início (km)	Fim (km)	Velocidade Regulamentada (km/k)
SHV 1	0,0	9,0	100
SHV 2	9,0	37,0	80
SHV 3	37,0	51,7	60
SHV 4	51,7	68,0	80
SHV 5	68,0	104,0	100
SHV 6	104,0	137,0	80
SHV 7	137,0	153,0	60
SHV 8	153,0	185,3	80
SHV 9	185,3	196,0	60
SHV 10	196,0	200,0	80

Fonte: Autora (2015)

Após a análise dos segmentos homogêneos de tráfego (SHT) e de velocidade (SHV) da rede viária analisada, deve-se compatibilizar as informações encontradas, ou seja, um determinado segmento deve ser homogêneo tanto em relação ao tráfego quanto à velocidade regulamentada. Sendo assim, a Figura 82 apresenta de forma esquemática a segmentação final da Rodovia A.

Figura 82 - Segmentação homogênea de tráfego e velocidade na Rodovia A



Fonte: Autora (2015)

A Tabela 23 apresenta a localização de início e fim de cada segmento homogêneo de velocidade após a compatibilização entre os segmentos homogêneos de tráfego e segmentos homogêneos de velocidade (SHTV).

Tabela 23 - Localização dos segmentos homogêneos na Rodovia A

SHTV	Início (km)	Fim (km)
SHTV 1	0,0	9,0
SHTV 2	9,0	37,0
SHTV 3	37,0	44,0
SHTV 4	44,0	51,7
SHTV 5	51,7	68,0
SHTV 6	68,0	104,0
SHTV 7	104,0	137,0
SHTV 8	137,0	146,0
SHTV 9	146,0	153,0

Continua Tabela 23

SHTV	Início (km)	Fim (km)
SHTV 10	153,0	185,3
SHTV 11	185,3	196,0
SHTV 12	196,0	200,0

Fonte: Autora (2015)

6.5.2 Etapa V.2 - Determinação dos segmentos críticos

Para a determinação dos segmentos críticos da Rodovia A, foram calculadas as taxas de severidade dos acidentes através do método do Denatran (1987), por meio da Unidade Padrão de Severidade, expresso em UPS. Tal método define ‘pesos’ para cada grau de gravidade, onde acidentes somente com danos materiais têm peso 1, acidentes com feridos têm peso 5 e acidentes com vítimas fatais têm peso 13.

A taxa de severidade dos acidentes é calculada através do número UPS, que corresponde à soma do número de acidentes ocorridos em diferentes gravidades, sendo definido conforme a Equação 1, apresentada no Capítulo 2

Na identificação dos segmentos críticos foram selecionados todos os segmentos homogêneos da Rodovia A, dividindo os mesmos em segmentos de 1 km, com exceção de alguns casos de início e final de trecho. A taxa de acidente de cada segmento foi calculada e comparada com a média da taxa de severidade dos acidentes do trecho total. Após a comparação, de acordo com o método adotado, os segmentos que apresentaram as taxas de severidade dos acidentes maiores do que a taxa média, foram denominados críticos.

A Tabela 24 apresenta os segmentos classificados como críticos através do cálculo da taxa de severidade de acidentes.

Tabela 24 - Segmentos críticos da Rodovia A

km inicial	km final	Taxa de severidade dos acidentes
5,0	5,9	3,92
7	7,9	4,57
24,0	24,9	5,79
35,0	35,9	4,62
141,0	141,9	4,01
154,0	154,9	5,02
197,0	197,9	3,97

Fonte: Autora (2015)

6.5.3 Etapa V.3 - Priorização dos segmentos críticos

Conforme apresentado na proposição do método de concepção de sistema de controle de velocidade, tal etapa visa priorizar os segmentos críticos identificados na Rodovia A, considerando a análise técnica, bem como aspectos orçamentários do órgão responsável pela rodovia. Desta forma, optou-se por priorizar todos os segmentos identificados como críticos na rodovia A para a implantação do sistema de controle de velocidade.

6.5.4 Etapa V.4 - Definição dos equipamentos

Para o controle de velocidade em trechos críticos, o método prevê a implementação de um novo conceito, que é o controle da velocidade média dos veículos. Como apresentado anteriormente, tal conceito já está sendo adotado em diversos países, onde se observou melhorias das condições de segurança vária nos trechos controlados, de acordo com o item 3.1 desta tese.

O princípio de funcionamento de controle da velocidade pela média no trecho consiste na identificação do veículo na entrada e na saída do trecho, cálculo da velocidade média desenvolvida e, por fim, a aplicação de multa aos infratores, independentemente do ponto da via onde ocorreu o excesso de velocidade.

Para isto, no trecho a ser implementado o controle de velocidade média de cada veículo, devem instaladas câmeras do tipo OCR (*Optical Character Recognition*), que fazem a captação e reconhecimento das imagens das placas dos veículos no início e no final do trecho a ser controlado. Através tempo inicial e final com que a placa de um veículo é captada, bem como da distância entre estes pontos, é possível verificar se o veículo está ou não acima da velocidade regulamentada.

Nesta etapa, deve-se avaliar a extensão do trecho a ser contemplado com o sistema de controle de velocidade média. Na etapa anterior, foram definidos os segmentos críticos a serem priorizados. Deve-se então avaliar a localização destes segmentos em relação aos segmentos homogêneos determinados previamente, apresentados na Tabela 23.

Esta verificação é importante no intuito de delimitar a extensão do trecho a ser controlado pela velocidade média, e não pelo controle de velocidade pontual. O segmento crítico localizado entre o km 5 a 5,9; por exemplo, está inserido no segmento homogêneo 1 (SH1), compreendido entre o km 0 e o km 9 da rodovia. Para definir a localização das câmeras OCR dentro dessa extensão (0 a 9 km), deve-se realizar um levantamento em campo, a fim de avaliar o comportamento do tráfego no local, evitando assim as chamadas rotas de fuga.

6.6 ETAPA VI - ANÁLISE DE PONTOS NOTÁVEIS E PONTOS CRÍTICOS

Ao finalizar a etapa de análise e priorização de segmentos, o método proposto prevê a análise da rodovia de forma pontual, buscando definir pontos notáveis e pontos críticos na rodovia. A seguir serão apresentados os procedimentos realizados para conclusão desta etapa.

6.6.1 Etapa VI.1 - Determinação dos pontos notáveis e pontos críticos

A primeira etapa de análise dos pontos notáveis e pontos críticos da Rodovia A se baseia na identificação destes pontos na rodovia. Para isto, serão avaliados paralelamente os pontos notáveis e pontos críticos, sendo estes apresentados a seguir.

6.6.1.1 Pontos notáveis

Para a determinação dos pontos notáveis da rodovia, sugere-se a consulta aos engenheiros responsáveis pelos trechos, levantamento de campo, bem como uma consulta à polícia rodoviária ou órgão responsável pela fiscalização dos trechos. Tais consultas visam o levantamento de pontos da rodovia com maior concentração de pedestres e ciclistas, tais como escolas, travessia de pedestres, trechos urbanos, enfim, trechos que demandem uma redução de velocidade e maior atenção dos motoristas.

Desta forma, foram definidos dois pontos notáveis na Rodovia A, caracterizados pela presença de pedestres e ciclistas, sendo eles:

- Escola localizada no km 40;
- Posto de saúde localizado no km 149.

6.6.1.2 Pontos críticos

No intuito de avaliar os pontos das rodovias com maior concentração de acidentes, fez-se o levantamento dos acidentes ocorridos no ano de 2014 na Rodovia A. A planilha foi organizada incluindo os seguintes itens:

- Localização do ponto (km);
- Número de acidentes com mortes (ACM);
- Número de acidentes com feridos (ACF);
- Número de acidentes sem vítima (ASV);
- Número de acidentes com gravidade não informada.

A Tabela 25 apresenta os locais concentradores de acidentes da Rodovia A em ordem decrescente do número de acidentes ocorridos.

Tabela 25 - Locais concentradores de acidentes da Rodovia A

km	Número de Acidentes				
	Total	Com mortes	Com feridos	Sem vítimas	Não informado
16,2	41	0	19	22	0
17,6	38	3	15	20	0
15,1	29	0	13	15	1
72,0	27	1	9	17	0
18,5	22	0	16	6	0
20,2	21	0	8	13	0
23,5	19	2	8	9	0
22,0	18	0	9	9	0
32,0	16	0	7	9	0
19,1	14	2	9	3	0
46,8	14	0	5	9	0
89,7	13	0	5	8	0
26,1	12	0	10	2	0
35,0	12	0	3	9	0
95,4	10	1	4	5	0
55,3	10	1	1	8	0
70,1	10	0	4	6	0
28,6	9	1	4	4	0
51,1	8	1	1	6	0
40,6	8	0	8	0	0
54,8	8	0	4	4	0
84,2	8	0	4	4	0
157,1	8	0	3	5	0
45,6	8	0	1	7	0
98,7	8	0	1	7	0

Fonte: Autora (2015)

6.6.2 Etapa VI.2 - Priorização dos pontos notáveis e pontos críticos

A priorização de pontos notáveis e pontos críticos pode considerar aspectos regionais e sociais da rede viária analisada, a serem discutidos pelos técnicos e gestores responsáveis, pela rodovia em questão.

Desta forma, os dois pontos notáveis, localizados no km 40 e km 149, identificados junto ao órgão responsável pela rodovia, foram definidos como prioritários, uma vez que nesses locais transitam os usuários mais vulneráveis do sistema trânsito, ou seja, pedestres e ciclistas.

Em relação à priorização dos pontos críticos, os locais concentradores de acidentes da Rodovia A, apresentados na Tabela 25, foram reordenados de acordo com o número de acidentes com mortos em ordem decrescente. Na sequência fez-se o mesmo procedimento com o número de acidentes com feridos, obtendo assim um ranking destes pontos de acordo com a gravidade dos acidentes ocorridos, como mostra a Tabela 26.

Tabela 26 - Ranking dos pontos críticos da Rodovia A relacionado à gravidade dos acidentes

km	Número de Acidentes				
	Total	Com mortes	Com feridos	Sem vítimas	Não informado
17,6	38	3	15	20	0
23,5	19	2	9	8	0
19,1	14	2	9	3	0
72,0	27	1	9	17	0
95,4	10	1	4	5	0
55,3	10	1	1	8	0
28,6	9	1	4	4	0
51,1	8	1	1	6	0
16,2	41	0	19	22	0
15,1	29	0	13	15	1

Continuação Tabela 26

km	Nº de Ac.	Nº de Ac. com Mortos	Nº de Ac. com Feridos	Nº de Ac. sem Vítimas	Nº de Ac. não informado
18,5	22	0	16	6	0
20,2	21	0	8	13	0
22,0	18	0	9	9	0
32,0	16	0	7	9	0
46,8	14	0	5	9	0
89,7	13	0	5	8	0
26,1	12	0	10	2	0
35,0	12	0	3	9	0
70,1	10	0	4	6	0
40,6	8	0	8	0	0
54,8	8	0	4	4	0
84,2	8	0	4	4	0
157,1	8	0	3	5	0
45,6	8	0	1	7	0
98,7	8	0	1	7	0

Fonte: Autora (2015)

Após uma análise junto ao órgão responsável, 10 pontos críticos foram priorizados para a implantação de um Sistema de Controle de Velocidade – SCV. Nesta priorização, foram considerados aspectos regionais, ou seja, buscou-se contemplar os três segmentos homogêneos de tráfego com pelo menos um ponto de controle de velocidade em cada um deles, como é o caso do km 157, localizado no SHT3, conforme apresentado na Tabela 21. A lista com a priorização estabelecida para os pontos críticos da Rodovia A está apresentada na Tabela 27.

Tabela 27 - Priorização dos pontos críticos da Rodovia A

km	Número de Acidentes				
	Total	Com mortes	Com feridos	Sem vítimas	Não informado
17,6	38	3	15	20	0
23,5	19	2	9	8	0
19,1	14	2	9	3	0
72,0	27	1	9	17	0
95,4	10	1	4	5	0
55,3	10	1	1	8	0
28,6	9	1	4	4	0
51,1	8	1	1	6	0
16,2	41	0	19	22	0
157,1	8	0	3	5	0

Fonte: Autora (2015)

A seguir serão definidos os equipamentos para cada um dos pontos notáveis e pontos críticos.

6.6.3 Etapa VI.3 - Definição dos equipamentos

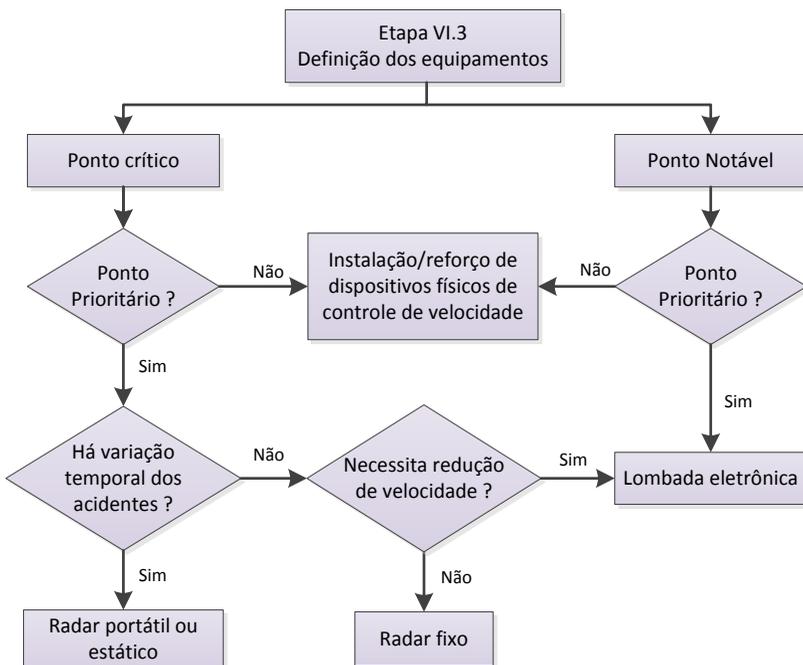
O método proposto prevê alguns critérios para a definição dos equipamentos de controle de velocidade a serem utilizados em pontos notáveis e pontos críticos, como mostra a Figura 83.

Em relação aos pontos notáveis, conceitualmente estes pontos necessitam uma redução de velocidade, por estarem diretamente relacionados à presença de usuários vulneráveis. Desta forma, nos dois pontos notáveis identificados na Rodovia A deve ser utilizado equipamento redutor de velocidade, ou seja, lombada eletrônica.

Em relação aos pontos críticos, nos pontos não priorizados na etapa anterior, podem ser implementadas outras medidas, com enfoque principal na instalação ou reforço de dispositivos físicos de controle de velocidade, relacionados à sinalização vertical e horizontal. Tal medida pode priorizar o reforço da sinalização vertical de regulamentação, como a placa “R-19 - Velocidade máxima permitida”.

No caso dos pontos críticos priorizados, uma avaliação da distribuição dos acidentes pode ser realizada, no intuito de verificar se há uma variação temporal na ocorrência dos acidentes ao longo do ano, como por exemplo, a ocorrência de acidentes somente em alguns meses do ano. Este comportamento dos acidentes pode ser um critério a ser definido pelo órgão responsável pela rodovia em realizar fiscalização de velocidade em períodos específicos do ano, por meio de radar portátil ou estático.

Figura 83 - Critérios para definição dos equipamentos



Fonte: Autora (2015)

Ainda em relação aos pontos críticos priorizados, cabe verificar se tal ponto necessita de uma redução da velocidade, no caso de um ponto de conflito na rodovia, por exemplo. Neste caso, uma lombada eletrônica é a opção recomendada. Em situações em que o objetivo seja controlar a velocidade máxima permitida, o equipamento deve ser o radar fixo.

Após verificação de todos estes critérios nos pontos críticos priorizados na Rodovia A, foi definido o equipamento do tipo radar fixo para o controle da velocidade. Desta forma, obteve-se uma lista com os

equipamentos definidos para cada ponto notável e ponto crítico priorizado, como mostra a Tabela 28.

Tabela 28 - Definição dos equipamentos para pontos notáveis e pontos críticos da rodovia A

km	Equipamento
16,2	Radar fixo
17,6	Radar fixo
19,1	Radar fixo
23,5	Radar fixo
28,6	Radar fixo
40,0	Lombada eletrônica
51,1	Radar fixo
55,3	Radar fixo
72,0	Radar fixo
95,4	Radar fixo
137,1	Radar fixo
149,0	Lombada eletrônica

Fonte: Autora (2015)

6.6.4 Etapa VI.4 - Pontos para implantação

A partir das informações obtidas na etapa IV – Levantamento dos equipamentos existentes, juntamente com a priorização dos pontos notáveis e críticos apresentados na etapa VI.2, deve-se avaliar a necessidade de implantação dos novos equipamentos. Conforme apresentado anteriormente, os pontos da Rodovia A que já apresentam equipamentos de controle de velocidade em operação são:

- km 2,8;
- km 35,4;
- km 167,0.

De acordo com método proposto, cabe ao órgão responsável pela Rodovia A avaliar se tais equipamentos devem continuar em operação ou não, uma vez que não estão localizados nos pontos definidos como críticos. Tal decisão deve ter embasamento técnico, por meio de estudos antes e depois do início de operação dos equipamentos, avaliando o número de ocorrências e gravidade dos acidentes. Os tipos de acidentes ocorridos, bem como suas causas relatadas nos boletins de ocorrência também devem ser avaliados. Além disso, a decisão de manter ou remover o equipamento de controle de velocidade também envolve aspectos relacionados a contratos com a empresa prestadora desse serviço, reforçando a tomada de decisão por parte do órgão responsável.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do método para concepção e gestão de sistemas de controle de velocidade tem como objetivo apresentar critérios técnicos para sua implementação, de modo a auxiliar os órgãos responsáveis pela segurança viária no Brasil nas atividades de planejamento e tomada de decisão.

A evolução dos equipamentos de controle de velocidade tornou o uso da tecnologia de verificação automática de velocidade como a alternativa mais viável e coerente para garantir a segurança de trânsito em pontos críticos de uma rodovia, bem como para a captação de dados importantes, como volume e composição do tráfego, que permitam um planejamento mais eficaz na operação das rodovias.

O método proposto para concepção de sistemas de controle de velocidade busca reduzir falhas muitas vezes observadas na implantação destes sistemas. Nesse sentido, o método de concepção de SCV tem como premissa a definição da necessidade de instalação de equipamentos, priorização dos locais para implantação, além do tipo de equipamento mais adequado para cada situação.

Desta maneira, o método proposto buscou definir procedimentos a serem adotados na análise de segmentos críticos, pontos críticos e pontos notáveis, apresentando soluções para concepção e gestão de um sistema de controle de velocidade para cada um desses elementos.

Uma etapa importante do método proposto é a definição de segmentos homogêneos de tráfego – SHT e segmentos homogêneos de velocidade – SHV. Tais conceitos estão relacionados à homogeneidade de um determinado trecho de rodovia em relação ao volume de tráfego, bem como da velocidade regulamentada. Esta segmentação viabiliza a implementação de controle de velocidade média em determinado trecho da rodovia, em função deste não apresentar variação tanto de volume de tráfego quanto de velocidade.

O método proposto para a gestão de sistemas de controle de velocidade permite avaliar a efetividade dos sistemas instalados, através da análise de segmentos e pontos críticos. A partir da comparação de segmentos e pontos críticos ao longo do tempo, é possível verificar a

efetividade da solução implementada, podendo-se avaliar a evolução no número e gravidade dos acidentes.

Com o objetivo de melhorar a segurança viária de uma rodovia, através da redução do número de acidentes e suas gravidades, um sistema de controle de velocidade deve estar alicerçado em três componentes principais: engenharia, educação e fiscalização. Somente assim, um sistema de controle de velocidade será eficiente e cumprirá com sua função principal que é salvar vidas. Nesse sentido, o método proposto para gestão de um sistema de controle de velocidade inclui pesquisas de opinião pública, bem como campanhas educativas, com o objetivo de transmitir ao público, seja a comunidade lindeira à rodovia ou os usuários da rodovia, sobre o real objetivo dos sistemas de controle de velocidade, reduzindo o número de acidentes e suas gravidades.

Espera-se que o desenvolvimento desta tese venha incrementar positivamente o cenário da segurança viária no país, através da adoção e aprimoramento dos métodos de concepção e gestão de sistemas de controle de velocidade em rodovias por parte de órgãos rodoviários.

7.2 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

Com base nos resultados obtidos neste estudo, assim como o conhecimento adquirido no seu desenvolvimento, recomenda-se o seu prosseguimento mediante a realização dos seguintes estudos:

- Desenvolvimento dos módulos “tráfego” e “ambiental” do método de concepção do sistema de controle de velocidade;
- Desenvolvimento dos módulos “tráfego”, “ambiental” e “infrações” do método de gestão do sistema de controle de velocidade;
- Estudo do gerenciamento ativo por meio de técnicas de harmonização de velocidade;
- Estudos relacionados aos limites de velocidade variável em uma rodovia;
- Estudo da influência da velocidade operacional de uma rodovia em relação ao consumo de combustível e, conseqüentemente, à emissão de gases;
- Definição de critérios para definição de velocidades limites nas rodovias;

- Avaliação de novas tecnologias para implementação de sistemas de controle de velocidade média em rodovias.

REFERÊNCIAS

AGUILERA, S.L.V.U.; MOUSÉS, S.T.; MOYSÉS, S.J. **Intervenções de segurança viária e seus efeitos nas lesões causadas pelo trânsito: uma revisão sistemática.** Rev Panam Salud Publica [online]. 2014, vol.36, n.4. p. 257-265.

ALLABY, P.; HELLINGA, B.; BULLOCK, M. **Variable Speed Limits: Safety and Operational Impacts of a Candidate Control Strategy for Freeway Applications.** IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 8, n.4, p. 671-680. 2007.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO. **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**, 5th Edition. Washington, 2011.

ANDERSON, I.; BAUER, K.; HARWOOD, D.; FITZPATRICK, K. **Relationship to safety of geometric design consistency measures for rural two-lane highways.** Transportation Research Record, Washington, D.C., n. 1658, p. 43-51, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Pesquisa de Acidentes de Trânsito – Terminologia.** ABNT NBR 10697:1989. 10p.

AUTORIDADE NACIONAL DE SEGURANÇA RODOVIÁRIA – ANSR. **Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária.** Portugal, 2009. 78 p.

AUTOSTRADA PER L'ITALIA. Disponível em<
<http://www.autostrade.it/it/tecnologia-sicurezza/sicurezza/tutor>>

BOCANEGRA, C.W.R. **Procedimentos para implementação e avaliação do desempenho de lombadas eletrônicas em áreas urbanas.** Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFRGS. Porto Alegre, 2006. 149 p.

BRANDÃO, L.M. **Discussão sobre métodos para identificação de locais críticos em acidentes de trânsito no Brasil**. Trabalho apresentado na disciplina de Infraestrutura viária IC 201 A. Campinas, SP, 2007.

BRANDÃO, L.M. **Medidores eletrônicos de velocidade: Uma visão da engenharia para implantação**. Perkons. Curitiba, 2011. 134 p.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **Resolução N° 160 de 22 de abril de 2004**. Aprova o anexo II do Código de Trânsito Brasileiro – CTB. 2004.

_____. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume I – Sinalização vertical de regulamentação**. Brasília: CONTRAN, 2007a.

_____. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume II – Sinalização vertical de advertência**. Brasília: CONTRAN, 2007b.

_____. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume IV – Sinalização horizontal**. Brasília: CONTRAN, 2007c.

_____. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **RESOLUÇÃO N° 39 DE 13 DE DEZEMBRO DE 1998**. Estabelece os padrões e critérios para a instalação de ondulações transversais e sonorizadores nas vias públicas disciplinados pelo Parágrafo único do art. 94 do Código de Trânsito Brasileiro. Brasília: CONTRAN, 1998. 6p.

_____. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **RESOLUÇÃO N° 160 DE 22 DE ABRIL DE 2004**. Aprova o Anexo II do Código de Trânsito Brasileiro. Brasília: CONTRAN, 2004. 83p.

_____. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **RESOLUÇÃO N° 396 DE 13 DE DEZEMBRO DE 2011**. Dispõe sobre requisitos técnicos mínimos para a fiscalização da velocidade de veículos automotores, reboques e semirreboques, conforme o Código de Trânsito Brasileiro. Brasília: CONTRAN, 2011. 15p.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias**

Rurais. Publicação IPR - 706, 1999. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/>>.

_____ DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Edital 471/2009.** Concorrência pública para contratação de empresas especializadas para a execução de serviços necessários ao controle viário nas rodovias federais, mediante a disponibilização, instalação, operação e manutenção de equipamentos eletrônicos, com coleta, armazenamento e processamento de dados estatísticos e dados e imagens de infrações na forma, quantidades, especificações técnicas e demais condições expressas neste edital e seus anexos. 392p.

_____ DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Conservação Rodoviária.** 2005. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual_de_conservacao_rodoviaria.pdf>

_____ DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Equipamentos redutores de velocidade e seu efeito sobre os acidentes nas rodovias federais.** Rio de Janeiro, 30p. (IPR. Publ., 735), 2010a.

_____ DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas.** Rio de Janeiro, 392 p. (IPR Publ. 740), 2010b.

_____ DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias.** Rio de Janeiro, 280 p. (IPR. Publ., 741), 2010c.

_____ DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Guia Prático – Plano Nacional de Controle Eletrônico de velocidade** (Minuta em processo de atualização e homologação), 2011. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviarrias/control-de-velocidade/guia-pratico-control-de-velocidade-versao-16-varejao.doc.pdf>>.

_____ DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Programa Nacional de Controle Eletrônico de Velocidade – PNCV – Atividade 1**. 2014. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/atividade-1-tipo-a-versao-1-data-11.08.2014.docx/view>>.

_____ DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN. **Código de Trânsito Brasileiro**: instituído pela Lei nº 9.503, de 23/09/1997 - 3ª edição – Brasília, 2008.

_____ DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN. **Instrução Básica de Estatística de Trânsito**. Publicação para ensino à distância do Sistema Nacional de Estatísticas de Trânsito – SINET, 2001.

_____ DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN. **RESOLUÇÃO Nº 412 DE 09 DE AGOSTO DE 2012** Dispõe sobre a implantação do Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos – SINIAV em todo o território nacional. Brasília, 2012. 9p.

_____ INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras**. 2006. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/sites/000/2/destaque_acidentetransito%20\(Livro%2001\).pdf](http://www.ipea.gov.br/sites/000/2/destaque_acidentetransito%20(Livro%2001).pdf)>.

_____ MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT. **Procedimentos para o tratamento de locais críticos de acidentes de trânsito - Programa PARE**. 2002.

_____ MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT. Banco de Informações e Mapas de Transportes. [200-?] Disponível em: <<http://www2.transportes.gov.br/bit/01-inicial/index.html>>.

_____ POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL –PRF. **Estatísticas**. Disponível em <<http://www.dprf.info/>>.

BRINCKERHOFF, P., FARRADYNE, T., BURGESS, J.C. **Active Traffic Management Concept of Operations**. Seattle, WA: Washington State Department of Transportation, 2008. Disponível em

<<http://www.wsdot.wa.gov/NR/rdonlyres/73AC9A17-6178-4271-B3A9-91911BD1C8C6/0/FinalATMConceptofOperations.pdf>>

BUCHARLES, L.G.E. **Crêterios para avalia o pericial da macro e microtextura de pavimento asfáltico em local de acidente de trânsito.** Tese submetida   Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos, 2014. 171 p.

CALEFFI, F. **Gerenciamento Ativo de Tráfego: Estudo de Caso de Uma Autoestrada Brasileira.** Disserta o submetida ao Programa de Pós-Gradua o em Engenharia de Produ o - UFRGS. Porto Alegre, 2013. 65 p.

CALEIA, L.C. **A fiscaliza o eletrônica de velocidade e a percep o de seus usuários: o caso da ouvidoria da CET-Rio.** Disserta o submetida ao Programa de Pós-gradua o em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007. 189p.

CARDOSO, G. **Modelos para Previsão de Acidentes de Trânsito em Vias Arteriais Urbanas.** Tese de Doutorado em Engenharia de Produ o. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre/RS, 2006. 192 p.

CENTER FOR TRANSPORTATION RESEARCH AND EDUCATION – CTRE. **Handbook of Simplified Practice for Traffic Studies.** Iowa State University, Institute for Transportation, 2009. Disponível em <<http://www.ctre.iastate.edu/pubs/traffichandbook/>>

CENTRO DE EXPERIMENTA O E SEGURANÇA VIÁRIA - CESVI. **Levantamento e análise da mortalidade decorrente de acidentes de trânsito no Brasil.** 2013. Disponível em <<http://www.cesvibrasil.com.br/>>

CHAGAS, D.M. **Estudos sobre fatores contribuintes de acidentes de trânsito urbano.** Disserta o submetida ao Programa de Pós-Gradua o em Engenharia de Produ o - UFRGS, 2011. 114 p. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/32553/000786219.pdf?sequence=1>>

CHAGAS, D.M, NODARI, C.T, LINDAU, L.A. **Lista de fatores contribuintes de acidentes de trânsito para pesquisa no Brasil**. Artigo publicado nos anais do XXVI ANPET. Joinville, 2012.

CHEN, G.; MECKLE, W.; WILSON, J. **Speed and safety effect of photo radar enforcement on highway corridor in British Columbia**. Accident Analysis and Prevention, Volume: 34, 129-138. Publisher: Elsevier, 2002

CNT: SEST/ SENAT. **Pesquisa CNT de rodovias 2014: Relatório Gerencial**. Brasília., 2014. 388 p.

CORREA, F; RAIJA JR, A. A. **Desenvolvimento de Modelos de Viagens Urbanas com Uso de Redes Neurais Artificiais**. Anais do XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET, Brasília. 2006.

DEPARTMENT FOR TRANSPORT - DfT. **STATS20. Instruction for the completion of road accident reports from non-crash source**. Londres 2011. 113 p. Disponível em https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/230596/stats20-2011.pdf

DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO – DGT. Disponível em <<http://www.dgt.es/es/>>

DE PAUW, E., DANIELS, S., THIERIE, M., BRIJS, T. **Safety effects of reducing the speed limit from 90 km/h to 70 km/h**. Accident Analysis & Prevention. Volume: 62. Publisher: Elsevier. 2014.

EKSLER, V.; POPOLIZIO, M.; ALLSOP, R. **How far from Zero? Benchmarking of road safety performance in the Nordic countries**. ETSC – European Transport Safety Council. 49 p. Bélgica, 2009.

EVANS, L. **Traffic Safety**. Science Serving Society. 2004, 445 p.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA. **Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways**. USA. Publication n° 99-171. 217 p. 2000.

_____. **A summary of vehicle detection and surveillance technologies used in intelligent transportation systems**. Washington DC, 2000.

_____ **Freeway Management and Operations Handbook.** 2006. Disponível em <http://ops.fhwa.dot.gov/freewaymgmt/publications/frwy_mgmt_handbook/fmoh_complete_all.pdf>

_____ **Active Traffic Management: the next step in congestion management.** Alexandria, VA: American Trade Initiatives, 2007. Report FHWA – PL-07-012.

_____ **Speed Management – A Manual for Local Rural Road Owners.** 2012. 62 p. Disponível em <http://safety.fhwa.dot.gov/local_rural/training/fhwasa010413spmgt/speedmanagementguide.pdf>

_____ **Effectiveness of Innovative Speed-Enforcement Techniques in Illinois.** FHWA-ICT-14-006, 2014. 77p.

FERREIRA, P. N. **Avaliação da Macrotextura de Trechos Pavimentados de Rodovias Estaduais Situadas na Região Insular do Município de Florianópolis.** Dissertação de mestrado apresentada Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

FRAMARIN, C.S.; CARDOSO, G.; LINDAU, L.A. **Impacto dos controladores eletrônicos de velocidade na redução de acidentes.** Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET, Rio de Janeiro, 2003.

FRANÇA, A.M. **Diagnóstico dos acidentes de trânsito nas rodovias estaduais de Santa Catarina utilizando um sistema de informação geográfica.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

GOLD, P.A. **Nota Técnica: Fiscalização Eletrônica de Velocidade.** 2003. 37 p.

GOLD, P.; CANNELL, A. **Reduzindo Acidentes – O papel da fiscalização de trânsito e do treinamento de motoristas.** Washington: BID, 2001.

GOLDENBELD, C., SCHAGEN, I. **The Effects of Speed Enforcement with Mobile Radar on Speed and Accidents: An Evaluation Study on**

Rural Roads in the Dutch Province Friesland. Accident Analysis and Prevention 37: 1135–1144, 2005.

GOLDNER, L.G. **Engenharia de Tráfego: 1º Módulo. Apostila/Notas de aula.** Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2008.

HOWARD UNIVERSITY TRANSPORTATION RESEARCH CENTER – HUTRC. **Final Report: Analysis of 2010 Speed Data in The District Of Columbia.** Disponível em <<http://pt.scribd.com/ddotdc/d/54550322/17-conclusions-and-recommendations>>

HESS, S. **An analysis of the effects of speed limit enforcement cameras with differentiation by road type and catchment area,** Transportation Research Record, 1865, 28-34. 2004.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Custos dos acidentes de trânsito no Brasil.** Apresentação no Congresso Internacional de Trânsito. Porto Alegre, 2012.

LABORATÓRIO DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA – LABTRANS. **Elaboração de ações preventivas e corretivas de segurança rodoviária, por meio de identificação e mapeamento dos segmentos críticos da malha viária do DNIT. Produto 9 – Metodologia de Levantamento, Coleta e Processamento de Dados de Segurança Viária.** Destaque Orçamentário - Portaria nº 1.282 de 31 de outubro de 2008 - DNIT / UFSC. Florianópolis, 2010.

LAMM, R.; PSARIANOS, B.; MAILAENDER, T. **Highway design and traffic engineering handbook.** McGraw-Hill, 1999.

LEE, S.H. **Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias.** 2 Ed. rev. e ampl. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005. 430 p.

LOPES, F.S. **Fiscalização eletrônica de velocidade com classificação automática de veículos.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes – COPPE/RJ, Rio de Janeiro, 2010. 134 p.

LOPES, M.M.B, PORTO JUNIOR,W. **Fiscalização eletrônica da velocidade de veículos no trânsito: caso de Niterói.** In: Congresso Latino-Americano de Transporte Público e Urbano. Rio de Janeiro, 2007.

MATTOS, J.R.G. **Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendência de desempenho para a rodovia BR-290/RS.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. 137 p. Porto Alegre, 2009.

MOUKARZEL, P.E. **A utilização de radares eletrônicos nas rodovias estaduais de Santa Catarina.** Monografia de Especialização em Segurança Pública, Universidade do Sul de Santa Catarina, 1999.

NEZAMUDDIN et al. Traffic Operations and Safety Benefits of Active Traffic Strategies on TxDOT Freeways. FHWA. Publication number: FHWA/TX-12/0-6576-1. Estados Unidos, 2011.

NODARI, C. **Método de Avaliação da Segurança Potencial de Segmentos Rodoviários Rurais de Pista Simples.** Tese de doutorado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2003.

NODARI, C.; LINDAU, L. **Identificação e avaliação de características físicas da rodovia que influenciam a segurança viária.** XVII ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Rio de Janeiro. 2003.

OREGON DEPARTMENT OF TRANSPORTATION – ODOT. **Main Street Handbook.** 102 p. 1999.

OLDE, M.J., VAN BEEL, P., STEMERDING, M.P., HAVERMANS, P.F. **Reducing Speed Limits on Highways: Dutch Experiences and Impact on Air Pollution, Noise-Level, Traffic Safety and Traffic Flow.** Transport Research Centre, Ministry of Traffic and Transport. Association for European Transport and contributors, 2005

OLIVEIRA, M.P.de. **O impacto da utilização de medidores eletrônicos de velocidade na redução de acidentes de trânsito em área urbana.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2008.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. Disponível em <<http://www.onu.org.br/>>

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. **Strategies to Reduce Greenhouse Gas Emissions from Road Transport: Analytical Methods**. 2002, 67p. Disponível em <<http://internationaltransportforum.org/Pub/pdf/02GreenhouseE.pdf>>

_____. **Road Safety Annual Report 2013**. IRTAD – International Traffic Safety Data and Analysis Group. 2013, 458 p. Disponível em <http://internationaltransportforum.org/Pub/pdf/13IrtadReport.pdf>>

OGDEN, K.W. **Safer Roads: A guide to road safety engineering**, 1996.

PELLEGRINI, P.T. **Contribuição para o estudo das distâncias de visibilidade de ultrapassagem para rodovias bidirecionais com duas faixas de tráfego**. Dissertação de mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2006.

PEREIRA, C.A.; SOARES, J.B.; PONTES FILHO, I.D.S.; BRANCO, V.T.F.C. **Análise da aderência pneu-pavimento em pontos de ocorrência de acidentes**. TRANSPORTES v. 20, n. 2 (2012) p. 65-74.

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ROAD CONGRESSES - PIARC. **Road Safety Manual**. 2003.

QUEIROZ, M.P. **Análise espacial dos acidentes de trânsito no município de Fortaleza**. Dissertação de mestrado, UFC, Fortaleza, 2003.

RAIA JR, A.A. **A responsabilidade pelos acidentes de trânsito segundo a visão zero**. Revista dos Transportes Públicos – ANTP, ano 31, 2009, 1º quadrimestre.

REINHOLD, I.R. **Contribuição para alocação de faixas de pedestres em vias urbanas com a utilização de um sistema de informações geográficas, baseado no estudo dos fatores de segurança viária**. Tese Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

ROADS AND TRAFFIC AUTHORITY – RTA. **Identifying fixed speed camera locations**. Austrália, 2005a. Disponível em <<http://www.rta.nsw.gov.au/roadsafety/speedandspeedcameras/fixeddigitalcams/identifyingfixedspeedcameralocations.html>>

ROADS AND TRAFFIC AUTHORITY – RTA. **Evaluation of the Fixed Digital Speed Camera Program in NSW.** 2005b. Disponível em <http://www.rms.nsw.gov.au/roadsafety/downloads/2005_05_speedcam_era_evaluation.pdf >

SÃO PAULO. COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO – CET-SP. **Fiscalização da velocidade média em trecho da via.** Nota Técnica NT 222b, 2012.

SCHMITD, J.L. **Análise de velocidades em rodovias para estudos de planejamento e segurança viária.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. 193 p. Florianópolis, 2009.

SCHMITZ, A. **Proposta Metodológica baseada em GIS para análise dos segmentos críticos de rodovia – Estudo de caso na BR-285/RS.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. 142 p. Florianópolis, 2011.

SCHMITZ, A.; GOLDNER, L.G. **Aplicação e análise de métodos de cálculo de segmentos de rodovia em interface GIS.** In: PANAM 2012- Congresso Panamericano de Engenharia de Tráfego, Transportes e Logística, 2012, Santiago do Chile. PANAM 2012. Santiago do Chile: Universidad de Los Andes, 2012. v. 1. p. 1-12.

SHIN, K., WASHINGTON, S.P., SCHALKWYK, I. **Evaluation of the Scottsdale Loop 101 Automated Speed Enforcement Demonstration Program.** Accident Analysis and Prevention 41: 393–403, 2009.

SISIOPIKU, P.V., SULLIVAN, A., FADEL, G. **Implementing Active Traffic Management Strategies in the U.S.** University Transportation Center For Alabama – UTCA. Alabama, 2009. Disponível em <http://utca.eng.ua.edu/files/2011/10/08206-Final-Report.pdf>

SRINIVASAN,R., PARKER,M., HARKEY,D., THARPE,D., SUMNER,R. **Expert System for Recommending Speed Limits in Speed Zones.** Project NCHRP Project No. 3-67. Transportation Research Board, Washington, D.C, 2006.

SOUTH CAROLINA DEPARTMENT OF PUBLIC SAFETY - SCDPS. **South Carolina Traffic Collision Report Form (TR-310) and Supplemental Truck and Bus Report Form.** 2012.

STEFAN, Christian. **Austrian Road Safety Board. Section Control - Automatic Speed Enforcement in the Kaisermühlen Tunnel (Vienna, A22 motorway).** 2006. Disponível em <<http://www.kfv.at/fileadmin/webcontent/Publikationen/Studien/VM/SectionControl-Kaismtunnel.pdf>>

TAMAYO, A.S. **Procedimento para Avaliação e Análise da Segurança de Tráfego em Vias Expressas Urbanas.** Tese de doutorado, Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE. 2010.

THE ROYAL SOCIETY FOR THE PREVENTION OF THE ACCIDENTS – ROSPA. **Speed and road accidents.** 2005.

THE ROYAL SOCIETY FOR THE PREVENTION OF THE ACCIDENTS – ROSPA. **Inappropriate speed.** Road Safety Information. December, 2011.

THE ROYAL SOCIETY FOR THE PREVENTION OF THE ACCIDENTS – ROSPA. **Road Safety and Public Health,** 2014. 34 p.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD – TRB. **Equipment for collecting traffic load data.** 2004. Washington: National Cooperative Highway Research Program, 58 p.

_____. **Analysis of Speeding in Saudi Arabia and effectiveness of enforcement methods.** Ali S. Al-Ghamdi. In: Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board, n. 1969. Washington DC, 2006.

UNITED KINGDOM - UK. **Setting Local Speed Limits.** 2012. Disponível em: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/2733/setting-local-speed-limits.pdf

VIEIRA, J.L.P. **Questões que envolvem os controladores de velocidade utilizados na fiscalização de trânsito no Brasil.** Brasília: Consultoria

Legislativa da área XIII, Desenvolvimento Urbano, Trânsito e Transportes, 2003.

WAISELFISZ, J.J. **MAPA DA VIOLÊNCIA 2013: Acidentes de Trânsito e Motocicletas**. Centro Brasileiro de Estudos Latino-Americanos - CEBELA e Faculdade Latino-Americana de Ciências Sociais - FLACSO Brasil. Rio de Janeiro, 2013. 96 p.

WASHINGTON STATE PATROL - WSP. **Police traffic collision report manual**. 9th Edition. 116p. Disponível em < <http://www.wsp.wa.gov/publications/forms/ptcrman1.pdf> >

WILSON, C.; WILLIS C.; HENDRIKZ, J.K.; LE BROUQUE, R.; BELLAMY, N. **Speed cameras for the prevention of road traffic injuries and deaths (Review)**. New York: John Wiley & Sons Ltd, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **World report on road traffic injury prevention: summary**. 2004. Disponível em http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/summary_en_rev.pdf

_____ **Global status report on road safety: time for action**. 2009. 287 p. Disponível em <http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241563840_eng.pdf>.

_____ **Gestão de Velocidade: um manual de segurança viária para gestores e profissionais da área**. 2012. Disponível em <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43915/4/9789275317099_por.pdf >

_____ **Relatório Mundial sobre Prevenção de Lesões Causadas pelo Trânsito**. Brasília: 2012. 76 p.

_____ **Global Status Report on Road Safety 2013: Supporting a Decade of Action**. 2013. 318 p. Disponível em http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/en/.

_____ **Global Health Observatory Data Repository**. 2014. Disponível em < <http://apps.who.int/gho/data/node.main.A997?lang=en> >

YAMADA, M.G. Impacto dos radares fixos na velocidade e na acidentalidade em trecho da rodovia Washington Luís. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, 2005.

ANEXO

Anexo A – Resolução CONTRAN 396/2011