

Kenia Rúbia Thomazi

**ELABORAÇÃO DE MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES
DE TRÂNSITO EM RODOVIAS RURAIS DE PISTA SIMPLES
DO ESTADO DE SANTA CATARINA COM BASE NO
HIGHWAY SAFETY MANUAL (HSM).**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Transportes.
Orientadora: Profa. Dra. Lenise Grando Goldner

Florianópolis
2018

Thomazi, Kenia Rúbia

Elaboração de Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito em Rodovias Rurais de Pista Simples do Estado de Santa Catarina com base no Highway Safety Manual (HSM) / Kenia Rúbia Thomazi ; orientadora, Lenise Grando Goldner, 2018. 172 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2. Segurança Viária. 3. Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito. 4. Highway Safety Manual. I. Goldner, Lenise Grando. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. III. Título.

Kenia Rúbia Thomazi

**ELABORAÇÃO DE MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES
DE TRÂNSITO EM RODOVIAS RURAIS DE PISTA SIMPLES
DO ESTADO DE SANTA CATARINA COM BASE NO
HIGHWAY SAFETY MANUAL (HSM).**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

Florianópolis, 22 de fevereiro de 2018.

Prof. Dr. Norberto Hockheim
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Lenise Grando Goldner
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Amir Mattar Valente
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Luis Alberto Gomez
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Gilmar Cardoso
Membro externo
ANTT

Este trabalho é dedicado aos meus pais,
Dionísio e Isolete.

AGRADECIMENTOS

À professora Lenise Grando Goldner, pela sua orientação, paciência e incentivo ao longo do período do trabalho.

Aos meus pais, Dionísio Thomazi e Isolete Thomazi, que sempre me apoiaram e nunca mediram esforços para auxiliar na realização dos meus sonhos. Dedico à eles todas as conquistas de minha vida, pois sempre estiveram do meu lado torcendo e acreditando que tudo seria possível.

Aos meus amigos e familiares, pela compreensão de minha ausência em alguns momentos, todos estavam cientes de meu esforço e sempre me apoiaram.

Aos colegas de trabalho da Concessionária Autopista Litoral Sul, empresa Arteris S/A, que acompanharam o desenvolvimento meu trabalho e sempre estiveram também me apoiando. Dos colegas, destaco meus gestores Waldo Francisco Correa e Rodrigo José Pavan, que permitiram conciliar os estudos com o trabalho.

À polícia militar rodoviária de Santa Catarina, a PMRV/SC, que forneceu de forma rápida e eficaz os dados de acidentes necessários para o desenvolvimento dos modelos preditivos. Destaco o apoio do subtenente Flávio que sempre estava disponível a auxiliar sempre que era solicitado algum novo dado.

Ao departamento de infraestrutura de Santa Catarina, o DEINFRA/SC, que prontamente também me auxiliou fornecendo os dados de volume de tráfego para as rodovias do projeto.

Por fim, agradeço a todos aqueles que me apoiaram e torceram por mim.

RESUMO

Os acidentes de trânsito atualmente são os responsáveis por um grande número de mortes e feridos na população mundial, sendo considerada a principal causa de mortes entre jovens de 15 a 29 anos. Desenvolver medidas e ferramentas que promovam o aumento da segurança viária e que assim, reduzam a quantidade e a gravidade dos acidentes de trânsito é imprescindível para diminuir os índices atuais de acidentes em todo mundo. Dentre as medidas na esfera do gerenciamento de segurança viária, destacam-se os modelos de previsão de acidentes de trânsito (MPA), que possibilitam determinar um valor esperado de acidentes em função das características locais em uma unidade de tempo. Este estudo desenvolveu modelos de previsão de acidentes de trânsito baseados na metodologia americana do *Highway Safety Manual - HSM*, em rodovias rurais de pista simples do Estado de Santa Catarina. Foram utilizados dados de acidentes de trânsito do período de 2011 a 2014 de 367 segmentos homogêneos que totalizaram uma amostra de 1132,47 quilômetros de extensão em 15 rodovias. Pelos resultados obtidos na calibração do modelo preditivo com refinamento do método empírico de Bayes, foi possível validar a transferibilidade da metodologia HSM para o cenário catarinense e desenvolver a função de desempenho de segurança (SPF) para a amostra trabalhada. Medidas de qualidade de ajuste foram empregadas a fim de verificar a confiança e a aderência dos resultados alcançados com os dados observados no período de estudo. O estudo ainda apresenta uma revisão sistemática dos trabalhos que envolveram modelos preditivos de acidentes, com ênfase na metodologia HSM e em outras metodologias existentes.

Palavras-chave: Segurança Viária. Acidentes de Trânsito. Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito. Highway Safety Manual. Rodovias de Pista Simples.

ABSTRACT

Traffic accidents are currently responsible for a large number of deaths and injuries in the world population and are the leading cause of death among young people aged 15-29. Developing measures and tools to increase road safety and thus reduce the number and severity of traffic accidents is essential to reduce current levels of accidents worldwide. Among the measures in the area of road safety management, we highlight the traffic accident prediction models (MPA), which determine an expected value of accidents according to the local characteristics in a unit of time. This study developed models of traffic accident prediction based on the US Highway Safety Manual - HSM methodology, on rural two-lane highways in the State of Santa Catarina. We used traffic accident data for the period from 2011 to 2014 of 367 homogeneous segments that totaled a sample of 1132.47 kilometers in 15 highways. The results obtained in the calibration of the predictive model with refinement of the Bayes empirical method, made it possible to validate the transferability of the HSM methodology to the Santa Catarina scenario and to develop the safety performance function (SPF) equation for the worked sample. Adjustment quality measures were used to verify the confidence and adherence of the results achieved in relation to the data observed during the study period. The study also presents a systematic review of the work that involved predictive models of accidents, with an emphasis on the HSM methodology and other existing methodologies.

Keywords: Road Safety. Traffic accidents. Model Traffic Accident Prediction. Highway Safety Manual. Two-lane Highway.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Taxa de mortalidade no trânsito por 100.000 habitantes no Brasil, 1996-2011.....	24
Figura 1.2 - Mapa rodoviário de Santa Catarina.....	28
Figura 2.1 - Fatores que afetam a segurança de trânsito.....	32
Figura 2.2 - Procedimento/roteiro utilizado no estudo	38
Figura 2.3 - Origens de dados utilizados para calibração do SPF do HSM e de novos modelos.....	57
Figura 2.4 - Representação da identificação e combinação do algoritmo.	63
Figura 3.1 - Etapas de aplicação e desenvolvimento do modelo preditivo	70
Figura 3.2 - Disposição dos limites originais de segmentos e interseções do HSM	74
Figura 4.1 - Características da malha rodoviária catarinense no ano de 2007 – Exemplo.....	95
Figura 4.2 - Correlação de Rodovias	100
Figura 4.3 – Cadastro parcial dos segmentos homogêneos da SC-108.....	101
Figura 4.4 - Distribuição das extensões dos segmentos da amostra total.....	103
Figura 4.5 – Definição de segmentos de rodovias e interseções	104
Figura 4.6 - Distribuição acumulada dos acidentes ocorridos entre 2011 a 2014 em rodovia	105
Figura 5.1 - Distribuição dos acidentes observados e previstos dos modelos do cenário 1, 2 e 4.....	118
Figura 5.2 - Distribuição dos acidentes observados e previstos dos modelos 1, 3 e 5.	119
Figura 5.3 - Correlação entre o número de acidentes observados e o número de acidentes previstos no modelo calibrado por rodovia/cenário 2.....	120
Figura 5.4 - Correlação entre o número de acidentes observados e o número de acidentes previstos no modelo calibrado por amostra total/cenário 3.....	121
Figura 5.5 - Correlação entre o número de acidentes observados e o número de acidentes esperados no modelo calibrado+método EB por rodovia/cenário 4.....	121

Figura 5.6 - Correlação entre o número de acidentes observados e o número de acidentes esperados no modelo calibrado+método EB por amostra total/cenário 5..... 122

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Alguns fatores contribuintes dos componentes	32
Quadro 2.2 – Trabalhos selecionados na revisão bibliográfica sistemática	43
Quadro 3.1 - Medidas de qualidade de ajuste empregadas em alguns estudos.	90
Quadro 4.1 – Composição do Plano Diretor Rodoviário para o Estado de Santa Catarina.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Países com maiores registros de mortes no ano de 2013.....	23
Tabela 1.2 - Rede do Sistema Nacional de Viação de 2015 do Estado de Santa Catarina em km.....	28
Tabela 2.1 - Distribuição dos fatores causadores de acidentes em %	33
Tabela 2.2 - Variáveis significativas para os modelos de previsão desenvolvidos e valores de codificação.....	53
Tabela 2.3 - Influência das variáveis da metodologia HSM para vias arteriais de pista simples, sem divisão de faixas.....	65
Tabela 3.1 - Arredondamento considerado para segmentação de trechos homogêneos referente a largura das faixas	73
Tabela 3.2 - Arredondamento considerado para a segmentação de trechos homogêneos referente a largura dos acostamentos pavimentados	73
Tabela 3.3 - Distribuição percentual por severidade da frequência de acidentes em rodovias de pista simples	76
Tabela 3.4 - Distribuição percentual de acidentes por tipo e severidade.....	76
Tabela 3.5 - CMF_{ra} Influência da largura da faixa de rolamento em segmentos de rodovia de pista simples.....	78
Tabela 3.6 - CMF_{wra} Influência da largura do acostamento em segmentos de rodovias de pista simples.....	79
Tabela 3.7 - CMF_{tra} Influência do tipo de revestimento do acostamento em segmentos de rodovias de pista simples	79
Tabela 3.8 - CMF_{3r} Influência do greide no número de acidentes	81
Tabela 3.9 - Descrição dos sete índices de obstáculos laterais ...	83
Tabela 3.10 - Proporção de acidentes noturno em segmentos não iluminados.....	84
Tabela 3.11 - Dados necessários para calibração do modelo de previsão de acidentes para rodovias de pista simples.....	86
Tabela 4.1 - Relação de filtros e respectivas extensões. Amostra 01.....	97
Tabela 4.2 - Margem da amostra 01. Rodovias rurais de pista simples Primárias e Secundárias, com Revestimento Primário e Leito Natural.....	98
Tabela 4.3 - Amostra 02 das rodovias rurais catarinenses. Em quilômetros.....	98

Tabela 4.4 - Amostra 03 das rodovias rurais catarinenses. Em quilômetros	99
Tabela 4.5 – Resumo das rodovias e extensões da amostra final.	102
Tabela 4.6 - Resumo dos acidentes observados por rodovia ao longo do período de 2011 a 2014.....	104
Tabela 4.7 – Relação de mortos e feridos em relação a tipologia dos acidentes de toda a amostra	106
Tabela 5.1 - Ajuste da largura da faixa medida.....	108
Tabela 5.2 - Equações utilizadas para a determinação do CMF_{1r}	108
Tabela 5.3 - Ajuste da largura do acostamento medido	108
Tabela 5.4 - Equações utilizadas para a determinação do CMF_{wra}	109
Tabela 5.5 - Percentual de acidentes por rodovia ao longo dos anos (em decimal) (p_{ra})	109
Tabela 5.6 - Resumo do números de acidentes previstos através da equação original do HSM	111
Tabela 5.7 – Comparativo do número acumulado dos acidentes previstos x acumulado no período de 2011 a 2014.....	112
Tabela 5.8 – Fator de calibração regional por grupo de rodovia	114
Tabela 5.9 - Resumo do números de acidentes previstos através do modelo original e Fator de calibração da amostra.....	115
Tabela 5.10 - Número de acidentes previstos no modelo calibrado por grupo de rodovia/cenário 2 e por amostra total/cenário 3.....	115
Tabela 5.11 - Resumo do número de acidentes esperados no período de 2011 a 2014 no modelo refinado de Bayes por rodovia/cenário 4 e por amostra total/cenário 5.....	117
Tabela 5.12 – Resultado do MAD nos modelos preditivos por rodovia e por amostra total.....	124
Tabela 5.13 - Resultado do MAD nos modelos preditivos por amostra.....	124
Tabela 5.14 - Resultado do MAPE nos modelos preditivos por rodovia	125
Tabela 5.15 - Resultado do MAPE nos modelos preditivos por amostra total.....	126
Tabela 5.16 - Resultado do R^2 -Efron nos modelos preditivos por rodovia	127
Tabela 5.17 - Resultado do R^2 -Efron nos modelos preditivos por amostra total.....	127

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANPET	Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes
CMF	<i>Crash Modification Factors</i>
Cx	<i>Calibration Factor</i>
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DEINFRA/SC	Departamento de Infraestrutura de Santa Catarina
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DEOH	Departamento de Edificações e Obras Hidráulicas
DER	Departamento de Estradas e Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre
FRM	Fenômeno de Regressão à média
EB	Empírico de Bayes
HCM	<i>Highway Capacity Manual</i>
HSM	<i>Highway Safety Manual</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPE	<i>Mean Absolute Percentage Error</i>
MDA	Desvio Médio Absoluto
MPA	Modelo de Previsão de Acidente
OMS	Organização Mundial da Saúde
PANAM	Panamericano. Congresso Panamericano de Engenharia de Trânsito, Transporte e Logística.
PIB	Produto Interno Bruto
PLURIS	Planejamento Urbano Regional, Integrado e Sustentável.
PMRV/SC	Polícia Militar Rodoviária de Santa Catarina
PRF	Polícia Rodoviária Federal
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPF	<i>Safety Performance Functions</i>
TRID	<i>Transport Research International Documentation</i>
UPS	Unidade Padrão de Severidade
VDMA	Volume Médio Diário Anual
WHO	<i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	OBJETIVOS	25
1.1.1	Objetivo geral	25
1.1.2	Objetivos específicos	25
1.1.3	Importância e Justificativa.....	26
1.1.4	Área de Estudo	27
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	31
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA NARRATIVA	31
2.1.1	Acidentes de Trânsito	31
2.1.2	Causas e Fatores Contribuintes	31
2.1.3	Gerenciamento da Segurança Viária.....	33
2.1.4	Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito.....	34
2.1.5	Highway Safety Manual - HSM.....	34
2.1.6	Método Empírico de Bayes - EB	36
2.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA	37
2.2.1	Atividade 1 – Planejamento.....	39
2.2.1.1	Etapa 1 - Identificar a necessidade da revisão.....	39
2.2.1.2	Etapa 2 - Elaborar a proposta da revisão.....	39
2.2.1.3	Etapa 3 - Desenvolver o protocolo da revisão.....	39
2.2.2	Atividade 2 – Realização.....	40
2.2.2.1	Etapa 1 - Identificar e selecionar os trabalhos.....	40
2.2.2.2	Etapa 2 - Avaliar os trabalhos selecionados	41
2.2.2.3	Etapa 3 - Extrair dados e informações	42
2.2.2.4	Etapa 4 - Sintetizar os dados	42
2.2.3	Atividade 3 - Comunicação e Divulgação.....	47
2.2.3.1	Apresentação os resultados	47
3	MÉTODO DE PESQUISA	69
3.1	MÉTODO PREDITIVO DO HSM PARA RODOVIAS DE PISTA SIMPLES	69

3.2	ETAPA 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	71
3.3	ETAPA 2 E 3 – DEFINIÇÃO DO TIPO, LIMITES DA VIA E DO PERÍODO DE ESTUDO	71
3.4	ETAPA 4 E 5 – DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS E GEOMÉTRICAS	71
3.5	ETAPA 6 - IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS E INTERSEÇÕES.....	72
3.6	ETAPA 7, 8 E 9 – ATRIBUIÇÃO DOS ACIDENTES OBSERVADOS NOS ELEMENTOS INDIVIDUAIS / SELEÇÃO DE UM ELEMENTO INDIVIDUAL / SELEÇÃO DE UM ANO DO PERÍODO DE AVALIAÇÃO	74
3.7	ETAPA 10 – SELEÇÃO E APLICAÇÃO DA FUNÇÃO DE DESEMPENHO DE SEGURANÇA (SPF).....	75
3.8	ETAPA 11 – APLICAÇÃO DOS CMFs.....	77
3.9	ETAPA 12 - APLICAÇÃO DO FATOR DE CALIBRAÇÃO C_x	85
3.10	ETAPA 13 – APLICAÇÃO DO MÉTODO EB NOS SEGMENTOS INDIVIDUAIS.....	88
3.11	ETAPA 14 A 16 – REPETIÇÕES DA APLICAÇÃO DO MÉTODO NOS ELEMENTOS INDIVIDUAIS EM UM NOVO PERÍODO DE TEMPO	89
3.12	ETAPA 17 – OUTRA SITUAÇÃO ALTERNATIVA A SER AVALIADA?.....	89
3.13	ETAPA 18 E 19 – APLICAÇÃO DE MEDIDAS ESTATÍSTICAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE AJUSTE E RESULTADOS	90
4	SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS RODOVIAS PARA A CALIBRAÇÃO DO MÉTODO PREDITIVO DO HSM.	95
4.1	SELEÇÃO DAS RODOVIAS E IDENTIFICAÇÃO DO SEGMENTOS HOMOGÊNEOS.....	95
4.2	LEVANTAMENTO DOS ACIDENTES OCORRIDOS NOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS.....	103
	RESULTADOS	107
5.1	DELIMITAÇÃO DE CENÁRIOS	107

5.2	FATORES DE MODIFICAÇÃO DE ACIDENTES – CMFS 107	
5.3	APLICAÇÃO DO MODELO ORIGINAL DO HSM – CENÁRIO 1.....	111
5.4	MODELO DE PREVISÃO DE ACIDENTES CALIBRADO – CENÁRIO 2 E 3.....	113
5.5	MODELO REFINADO COM O MÉTODO EMPÍRICO DE BAYES – CENÁRIO 4 E 5.....	116
5.6	MEDIDAS DE QUALIDADE DE AJUSTE.....	119
5.6.1	Avaliação da correlação.....	119
5.6.2	Avaliação do desvio médio absoluto	123
5.6.3	Avaliação do erro percentual absoluto médio – MAPE.	124
5.6.4	Avaliação do R²-Efron	126
5.6.5	Avaliação do Pearson χ^2.....	127
5.7	<i>SAFETY PERFORMANCE FUNCTION</i> PARA A AMOSTRA 128	
6	CONCLUSÕES	129
6.1	LIMITAÇÕES E DIFICULDADES	131
6.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..	132
	REFERÊNCIAS.....	135
	APÊNDICES.....	143
	APÊNDICE A - SEGMENTOS HOMOGÊNEOS DA AMOSTRA	145
	APÊNDICE B - CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E OPERACIONAIS DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS	149
	APÊNDICE C - CLASSIFICAÇÃO DOS ACIDENTES AO LONGO DOS ANOS NAS RODOVIAS DA AMOSTRA	153
	APÊNDICE D - NÚMERO DE ACIDENTES PREVISTOS POR SEGMENTO HOMOGÊNEO ATRAVÉS DA EQUAÇÃO ORIGINAL DO HSM	159
	APÊNDICE E - NÚMERO DE ACIDENTES PREVISTOS POR SEGMENTO HOMOGÊNEO A PARTIR DA	

APLICAÇÃO DOS CMFS E FATOR DE CALIBRAÇÃO PONTUAL – FP	161
APÊNDICE F - NÚMERO DE ACIDENTES PREVISTOS APÓS A CALIBRAÇÃO REGIONAL E TOTAL DO MODELO – CENÁRIOS 2 E 3	163
APÊNDICE G - RESULTADOS DE W_i , PARÂMETRO DE DISPERSÃO K E NÚMERO DE ACIDENTES ESPERADOS	167
APÊNDICE H - CARACTERÍSTICAS E RESULTADOS DOS CMFs	169
APÊNDICE I - CD01: CADASTRO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS EM ARQUIVO KMZ E RESULTADOS COMPLETOS POR SEGMENTOS HOMOGÊNEOS	171

1 INTRODUÇÃO

Segundo o relatório anual divulgado pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2016 os acidentes de trânsito foram os responsáveis por cerca de 1,25 milhões de mortes no mundo em 2013. Eles são a principal causa de morte entre os jovens da faixa entre 15 e 29 anos e representam um custo médio de 5% do PIB dos países com economia de baixa e média renda. O estudo revela que 68 países registraram um aumento do número de mortes por lesões no trânsito desde 2010. Destes países, 84% são de baixa ou média renda. (WHO, 2016)

Esses países ainda apresentam taxas de vítimas fatais duas vezes superiores às taxas dos países de alta renda, havendo um número de mortes desproporcional relativamente ao nível de motorização dos países: 90% das mortes por lesões ocorrem nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, que detém apenas 54% dos veículos de todo o mundo. Além das mortes nas estradas, as lesões ocasionadas pelos acidentes afetam cerca de 50 milhões de pessoas no mundo.

O Brasil é o terceiro país que apresenta a maior quantidade de mortes registradas por acidente de trânsito, com cerca de 42.291 vítimas fatais, como pode ser observado na Tabela 1.1. Em comparação aos 5 países com maiores registros de acidentes em números absolutos, é o primeiro colocado quando observado índice de mortes a cada 100mil habitantes, alcançando uma taxa de 23,4. (WHO, 2016)

Tabela 1.1 – Países com maiores registros de mortes no ano de 2013

	Índia	China	Brasil	Estados Unidos	Rússia
Mortes relatadas em 2013 (números absolutos)	137.572	58.539	42.291	32.719	27.025
Índice de mortes a cada 100mil habitantes em 2013	16,6	18,8	23,4	10,6	18,9

Fonte: *Adaptado* de WHO, 2016.

No cenário nacional, o Brasil obteve uma grande redução no índice de mortes no trânsito em 1998 com a vigência do Código de Trânsito Brasileiro, implantado em substituição ao Código Nacional de Trânsito. Os anos seguintes apresentaram aumento na taxa de mortalidade e apenas em 2009 houve uma pequena redução no índice, podendo atribuir como um possível fator a criação e aplicação da Lei Seca (Figura 1.1). Porém, esse índice aumentou no decorrer dos anos, passando de

19,3mortes a cada 100 mil habitantes em 2009 para 23,4 em 2013, um crescimento de cerca de 21%. (WHO, 2016).

Figura 1.1 - Taxa de mortalidade no trânsito por 100.000 habitantes no Brasil, 1996-2011.



Fonte: Adaptado de PAHO (2015), p. 51.

Em relação aos dados divulgados pelos Ministério da Saúde, do ano de 2013 para 2014 houve um crescimento de 1,9% no número de vítimas fatais no país, passando de 42266 para 43075, respectivamente. (DATASUS, 2016). Cabe ressaltar que nesses dados não estão contabilizadas as mortes que ocorreram fora do local do acidente.

De acordo com Waiselfisz (2014), através da publicação do Mapa da Violência no Brasil, nos cenários regionais do país, a maior taxa em 2012 pode ser encontrada na região Centro-Oeste, com cerca de 32,1 óbitos por 100 mil habitantes, seguida pela região Sul, com 27,7 mortes por 100 mil habitantes.

Alguns fatores podem explicar o aumento da taxa de acidentes registrados dos trechos das rodovias. Para isso é necessária aferição das condições da segurança viária existente no local analisado. A segurança viária implica em uma série de características e variáveis das rodovias, decorrendo, por exemplo, desde a geometria e a manutenção da via até a postura dos motoristas. Para reduzir as ocorrências e a severidade dos acidentes, deve-se atuar em seis grandes áreas: engenharia, educação, esforço legal, engajamento, ambiente e avaliação. A área de engenharia é responsável pela melhoria nas condições de segurança no trânsito considerando as características físicas das vias, na melhoria e aperfeiçoamento dos veículos e no desenvolvimento de tecnologias automatizadas. Na área de ambiente destaca-se o entorno que está inserida a via, que exerce grande influência no comportamento de condutores e pedestres. (FERRAZ *et. al.*, 2012).

Os segmentos que registram grande incidência de acidentes e considerados como críticos, merecem ser analisados a fim de garantir que as condições oferecidas pela via sejam verificadas e atenuadas com medidas corretivas e preventivas. Dentre as medidas de prevenção, podem-se destacar entre os programas de gerenciamento de segurança viária, os modelos de previsão de acidentes de trânsito, que quando aplicados permitem a avaliação prévia das ações físicas na via voltada para o aumento da segurança viária. Conforme destacam Cardoso & Goldner (2007), os modelos de previsão de acidentes costumam determinar um valor esperado de acidentes com determinadas características, em uma unidade de tempo e num local analisado. Os modelos se tornam medidas importantes de contribuição do aumento da segurança viária.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver modelos de previsão de acidentes de trânsito para as rodovias rurais de pista simples do Estado de Santa Catarina a partir da transferência do método original e calibrado de previsão de acidentes proposto pelo *Highway Safety Manual* – HSM (AASHTO, 2010).

1.1.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral deste projeto de pesquisa, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Utilizar o modelo original do método original do HSM para estimar os acidentes em rodovias rurais de pista simples catarinenses e avaliar os resultados obtidos;
- b) Calibrar o modelo preditivo do HSM nas rodovias rurais de pista simples catarinenses e avaliar os resultados;
- c) Refinar o modelo calibrado com o método empírico de Bayes e avaliar os resultados;
- d) Aplicar medidas estatísticas de qualidade de ajuste para verificar se os modelos desenvolvidos podem ser aplicados à realidade catarinense;
- e) Desenvolver uma nova equação SPF de toda a amostra calibrada para realizar a estimativa dos acidentes futuros;

1.1.3 Importância e Justificativa

Os esforços atuais envolvendo a segurança viária em todo o mundo estão em frente ao cumprimento de uma meta estipulada pela Assembleia das Nações Unidas em 2010, de redução de 50% de lesões e mortes no trânsito até 2020. Tais esforços estão incluídos na Década de Ação da Segurança Viária, com a OMS acompanhando os resultados das ações dos países envolvidos ao longo dos anos. Desta forma, elaborar estudos e adotar medidas que resultem em melhorias na segurança da via e conseqüentemente, que promovam a redução de acidentes de trânsito, é uma das principais justificativas deste estudo. Tal estudo vai de encontro ao que as organizações e grupos, como a OMS, estão propondo e buscando. Além da Década de Ação da Segurança Viária, em setembro de 2015, a OMS lançou a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, integrando a segurança viária nos objetivos e metas do novo programa.

O desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes de trânsito pode auxiliar o poder público na tomada de decisão da priorização dos investimentos para intervenção nos locais considerados mais críticos, ou seja, com maior probabilidade de ocorrência de acidentes. Através desta priorização, o modelo também poderá tornar-se uma ferramenta social, pois poderá promover a redução da incidência e da gravidade de ocorrências a partir das intervenções em locais identificados com mais acidentes previstos. A adoção de medidas preventivas, como no caso de aplicação de um modelo de previsão de acidentes, também pode impactar positivamente nos custos atuais que são desembolsados na regularização dos danos ao patrimônio público, nos processos e no tratamento dos acidentados.

O estudo poderá servir como suporte para avaliação das condições de segurança de projetos viários (como de ampliação e/ou revitalização) ainda na fase de concepção. Também poderá ser utilizado como um procedimento para o desenvolvimento de modelos para outros locais distintos e ser aplicado nas rodovias com características semelhantes, observadas e apontadas no final do estudo. Cabe salientar ainda que, não foi encontrado na bibliografia disponível, modelos de previsão de acidentes desenvolvidos para rodovias catarinenses. Especificamente em rodovias rurais de pista simples, Silva (2011) desenvolveu modelos de previsão para as rodovias do Estado de São Paulo. Na bibliografia estrangeira, como nos Estados Unidos, destacam-se os trabalhos desenvolvidos em parceria com os departamentos de transportes americanos.

1.1.4 Área de Estudo

Segundo dados do IBGE (2017), o Estado de Santa Catarina está localizado na região Sul do Brasil, entre os paralelos 25°57'41" e 29°23'55", latitude Sul, e entre os meridianos 48°19'37" e 53°50'00", longitude Oeste. Possui um área total de 95.733,978 km², limitando-se ao Norte com o Estado Paraná, ao Sul com o Rio Grande do Sul, ao Oeste com a Argentina e ao Leste com o Oceano Atlântico.

Conforme o último Censo realizado em 2010, Santa Catarina possui uma população de aproximadamente 6.248.436 habitantes, com estimativa de alcance populacional para 2017 de 7.001.161. Essa população está distribuída em 295 cidades, com a capital administrativa em Florianópolis. (IBGE, 2017).

Segundo o Departamento Nacional de Trânsito, Santa Catarina apresentava em 2005 uma frota de 2.241.769 veículos, passando para 3.414.195 em 2010 e atingindo uma frota de 4.772.160 em 2016. O crescimento no período de 2010 a 2015 foi de 39,77%. (DENATRAN, 2017).

Santa Catarina conta com aproximadamente 2.341,1 km de rodovias federais implantadas e 4.538,8 km de rodovias estaduais, além dos acessos e estradas municipais. A distribuição das rodovias, segundo as esferas das jurisdições, pode ser observada na Tabela 1.2. Em relação as rodovias de pista simples pavimentadas, estas totalizam aproximadamente 4.495 km.

As rodovias federais que cortam o Estado são a BR- 101, a BR-116, a BR-153, a BR-280, a BR-282, BR-285 e a BR-470. Toda a extensão da BR-116 no Estado e parte da BR-101 são concedidas e estão sob responsabilidade da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), enquanto que o restante das rodovias citadas estão com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), vinculado ao Ministério dos Transportes, sendo o órgão responsável pela construção, manutenção e operação da infraestrutura. Em relação as rodovias estaduais, o órgão responsável por essa infraestrutura é o Departamento Estadual de Infraestrutura (DEINFRA), que iniciou suas operações em 2005 com a fusão do Departamento de Estradas de Rodagem (DER) com o Departamento de Edificações e Obras Hidráulicas (DEOH), ambos com bases estaduais. Na Figura 1.2 pode ser observado um mapa rodoviário catarinense, em que as linhas em vermelho referem-se as rodovias de jurisdição estadual enquanto que as azuis, referem-se as federais.

Figura 1.2 - Mapa rodoviário de Santa Catarina



Fonte: DEINFRA, 2016.

A Tabela 1.2 apresenta um resumo do sistema nacional de viação do estado de Santa Catarina, destacando os tipos de rodovias e a rede pavimentada. As rodovias estaduais representam quase 70% das rodovias do Estado de Santa Catarina. A jurisdição considerada como coincidente, refere-se aquela em que algum trecho da rodovia estadual sobrepôs/coincidiu com um segmento da federal. Para quantificar segmentos das rodovias, deve-se considerar a soma de estadual e estadual coincidente.

Tabela 1.2 - Rede do Sistema Nacional de Viação de 2015 do Estado de Santa Catarina em km

Jurisdição da rodovia	Planejada	Rede não planejada	Rede pavimentada				Total
			Pista Simples	Em obras duplic.	Pista dupla	Sub-total	
Federal	1.218,8	19,2	1.871,4	109,6	360,1	2.341,1	3.579,1
Estadual	0,0	252,9	724,8	0,0	13,6	738,4	991,3
Coincidente							

Estadual	2.121,7	1.271,9	3.771,0	0,0	29,4	3.800,4	7.194,0
Santa Catarina	46.722,5	54.268,1	6.557,0	109,6	389,5	7.056,1	108.046,7
Total	50.063,0	55.812,1	12.924,2	219,2	792,6	13.936,0	119.811,1

Fonte: *Adaptado* de DNIT, 2015.

As rodovias que foram selecionadas para o presente estudo deviam atender inicialmente as seguintes premissas: se localizar geograficamente dentro do estado de Santa Catarina, possuir pavimentação, ter jurisdição estadual, ser de pista simples e com entorno rural.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA NARRATIVA

2.1.1 Acidentes de Trânsito

Para ABNT (1989) 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 ou aéreas abertas ao público. Pode originar-se, terminar ou envolver veículos parcialmente na via pública.

Gold (1998) define acidente de trânsito como um evento não intencional que produz ferimentos ou danos, que envolve ao menos um veículo que circula em uma via, podendo ser o veículo motorizado ou não.

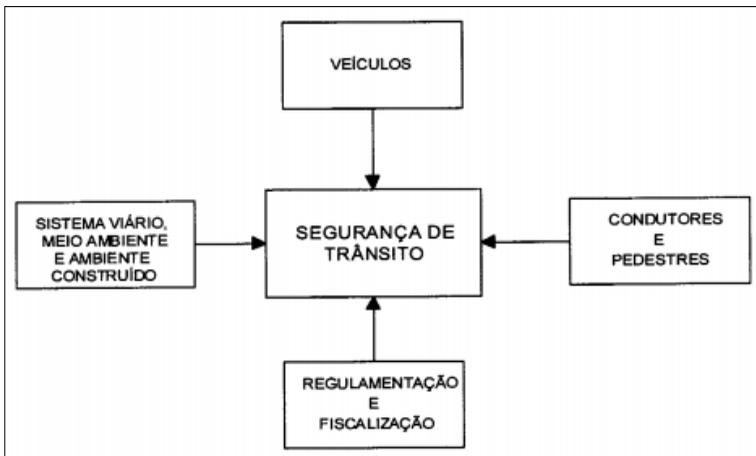
2.1.2 Causas e Fatores Contribuintes

É muito difícil atribuir uma causa única a um acidente de trânsito. Existem vários fatores que influenciam e compõem uma combinação de riscos para que aconteça a ocorrência.

As principais ações, falhas ou condições que levaram diretamente ao acidente são considerados como os fatores contribuintes de um acidente viário. Eles mostram quais circunstâncias dão origem ao acidente e dão pistas de como este acidente poderia ter sido evitado. A problemática dos fatores contribuintes está voltada na experiência e habilidade de um investigador em reconstruir a cena e eventos em que levaram ao acidente. (*Departament for Transport - DfT, 2004 apud CHAGAS, 2011*).

Conforme argumenta Nodari (2003), a grande maioria dos fatores contribuintes de um acidente pode ser agrupado em três componentes: componente humano, componente veicular e componente viário-ambiental. Agregando a esses componentes, segundo Gold (1998), pode-se acrescentar ainda um quarto fator denominado "fator institucional/social". O autor ainda destaca que uma adequação a qualquer destes fatores, como a melhoria na educação de condutores e pedestres; na manutenção de veículos; na geometria; sinalização da via e controle policial, devem gerar um aumento na segurança. A Figura 2.1 representa os quatro componentes básicos de um acidente de trânsito.

Figura 2.1 - Fatores que afetam a segurança de trânsito



Fonte: Gold (1998), p. 24.

O Quadro 2.1 exemplifica alguns dos principais fatores que integram os quatro grandes grupos citados anteriormente.

Quadro 2.1 – Alguns fatores contribuintes dos componentes

Componente	Fatores
Humano	Velocidade inapropriada, ingestão de álcool/drogas e/ou medicamentos, cansaço e sonolência, conduta perigosa, falta de habilidade, desvio de atenção e "não ver e não ser visto"
Viário/ ambiental	Defeitos na superfície de rolamento, projeto geométrico inadequado, sinalização deficiente, interseções inadequadas, problemas na lateral da via e falta de iluminação na lateral da via
	Chuva, neve, vento forte, neblina, fumaça, óleo ou outro material lubrificante sobre a pista, propaganda comercial.
Veicular	Manutenção inadequada, tipo de veículo, projeto dos veículos e visibilidade
Institucional	Legislação e fiscalização

Fonte: Adaptado de Ferraz *et. al.* (2012). p. 51 a 68.

O componente humano representa a maior parcela dos fatores que contribuem na ocorrência de um acidente de trânsito, seguido pela combinação do componentes humanos e viários/ambientais. Havendo o tratamento ou adequação de fatores que podem ser previsíveis, como o

estudo dos fatores viários, pode-se alcançar uma redução na ocorrência e/ou gravidade dos acidentes de trânsito. A Tabela 2.1 do livro de Ferraz *et. al.* (2012) apresenta uma distribuição dos fatores de riscos associados a diversos componentes do sistema, de acordo com quatro estudos desenvolvidos em alguns países e no Brasil.

Tabela 2.1 - Distribuição dos fatores causadores de acidentes em %

Fator	Valores baseados nos trabalhos de Sabey & Staughton (1975) e Treat <i>et. al.</i> (1979)	Valores citados por Wienwille (2002)	Valores obtidos no Brasil por Scaringella (2004)
Humano (H)	67	65	44
Via/ Meio Ambiente (A)	3	2	0
Veículo (V)	3	2	0
H + A	23	25	29
H + V	4	5	19
A + V	0	0	0
H + A + V	1	1	8
Total	100	100	100
Presença de H	95	96	100
Presença de A	27	26	37
Presença de V	8	6	27

Fonte: Ferraz *et. al.* (2012). p.66

No estudo realizado no Brasil, 37% dos acidentes que ocorrem possuem um fator contribuinte envolvendo a via/meio ambiente. (FERRAZ *et. al.*, 2012).

2.1.3 Gerenciamento da Segurança Viária

O processo de tomada de decisão no gerenciamento da segurança viária depende de indicadores que possam expressar de forma objetiva o nível de segurança dos componentes de uma determinada rede de transportes (AASHTO, 2010).

O gerenciamento da segurança viária pode ser classificado em categorias corretivas e preventivas. A categoria corretiva, também conhecida como iniciativa reativa, refere-se à análise dos pontos críticos enquanto que a categoria preventiva, conhecida também como iniciativa proativa, refere-se a auditoria e análise de conflitos de tráfego. Nodari (2003) ressalta que a categoria de medidas reativas tem o objetivo de avaliar e resolver os problemas dos acidentes em um trecho da via

enquanto que a categoria proativa pretende identificar situações de risco presente na via, antes que os acidentes ocorram.

2.1.4 Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito

Conforme destacam Ferraz *et al.* (2012), os modelos de previsão de acidentes têm por objetivo estabelecer relações matemáticas entre o número provável de acidentes que vai ocorrer em um segmento de via ou interseção em função das características físicas, geométricas e operacionais do local. Podem ser empregados de acordo com as seguintes finalidades (Ferraz *et. al.*, 2012; AASHTO, 2010):

- a) Identificação de locais onde existe um elevado risco de ocorrência e de gravidade de acidentes;
- b) Quantificação de redução da quantidade e da gravidade após a implantação de tratamento na via;
- c) Avaliação econômica dos benefícios diretos e indiretos da redução dos acidentes (item anterior);
- d) Identificação dos principais fatores que contribuem na ocorrência dos acidentes e potenciais medidas de mitigação associadas;
- e) Subsídio para projetos de novas vias ou reabilitação de vias existentes, através da aferição da frequência e gravidade dos acidentes nas alternativas de projeto;
- f) Auxílio na tomada de decisão da priorização das ações voltadas reduzir os acidentes.

Os modelos são desenvolvidos por técnicas estatísticas, com base na frequência de acidentes observada ao longo do tempo em locais com características físicas semelhantes, considerando um período de valores de volume de tráfego. (SILVA, 2011).

2.1.5 Highway Safety Manual - HSM

O manual de segurança viária americano foi desenvolvido pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), sendo utilizado como uma ferramenta capaz de quantificar os efeitos que as mudanças no ambiente viário refletem na segurança do trânsito. A primeira edição foi publicada em 2010 e um suplemento incluindo dois novos capítulos foi publicado em 2014.

O suplemento da edição de 2014 inclui dois novos capítulos (18 e 19) que auxiliam o utilizar o método para estimar a frequência média de acidentes esperada para as rodovias com rampas que possuem características conhecidas. Um terceiro capítulo, constituindo o apêndice

B para a parte C, descreve dois procedimentos especializados a serem utilizados nos novos capítulos. O HSM (AASHTO, 2010) é organizado em 4 partes, sendo a parte A composta pela introdução, os fatores humanos e a fundamentação teórica; a B formada pelo processo de gestão de segurança na via; a C constituída pelos métodos preditivos e a D pelos fatores de modificação de acidentes.

Conforme destaca Duarte (2012), na metodologia do HSM (AASHTO, 2010) foram desenvolvidos diversos modelos de previsão de acidentes para segmentos de via ou interseções com características preestabelecidas. O método baseia-se em modelos de regressão que são desenvolvidos através de dados de acidentes para um número de locais que são semelhantes.

Dentre os termos e conceitos existentes no glossário do manual, destaca-se o "*crash*". Segundo AASHTO (2010), o acidente (ou *crash*) caracteriza-se por um conjunto de eventos que não estão sob o controle humano. Eles resultam em ferimentos ou danos materiais oriundos da colisão entre pelo menos um veículo motorizado com um outro veículo motorizado, um ciclista, um pedestre e/ou um objeto. Esta definição é importante pois, no manual os acidentes entre bicicletas ou entre bicicletas e pedestres não são considerados.

Os modelos no manual estão separados nos seguintes grupos:

- a) *Rural two-lane - two ways roads*: rodovias de pista simples;
- b) *Rural four-lane (and undivided highways) or multilanes*: pista dupla, com duas ou mais faixas por sentido;
- c) *Urban and Suburban Arterials*: vias arteriais urbanas e suburbanas incluindo vias com três faixas sendo a central para conversão a esquerda.

As características geométricas, físicas e operacionais preestabelecidas no modelo são utilizadas como referência e são determinadas através de expressões denominadas *Safety Performance Functions - SPFs*.

Como o método é baseado nos dados de acidentes e características de vias americanas, alguns segmentos da rodovia podem divergir das condições de base, necessitando portanto, ajustar os valores fornecidos pela SPF. O ajuste é realizado a partir da modificação de fatores que são denominados *Crash Modification Factors - CMFs*. (AASHTO, 2010)

Conforme destaca Ferraz *et al.* (2012), quando o modelo de previsão de acidentes vai ser empregado em outras regiões que não aquela onde foi desenvolvida a SPF, é necessário utilizar um fator de calibração regional, conhecido como *Calibration Factor - C_x*.

A partir dos parâmetros encontrados SPF, CMFs e posteriormente o fator de calibração C_x , é estimado o número de acidentes para um ano específico e um determinado local, $N_{previsto}$, através da equação abaixo (AASHTO, 2010):

$$N_{previsto} = N_{spf} \times (CMF_{1X} \times CMF_{2X} \times \dots \times CMF_{yx}) \times C_x \quad (1)$$

Sendo:

$N_{previsto}$: número previsto de acidentes para um determinado local x em um ano;

N_{spf} : número previsto de acidentes para um determinado local x em um ano, a partir de uma condição considerada no desenvolvimento da função de desempenho;

CMF_{yx} : fator modificação de acidentes da SPF, a partir de uma condição y e um determinado local x;

C_x : fator de calibração regional, em relação ao determinado local x.

2.1.6 Método Empírico de Bayes - EB

Para os estudos de segurança, os métodos bayesianos permitem analisar o comportamento do local tratado com informações e dados de históricas de acidentes e de locais semelhantes, considerando qualquer parâmetro de um problema como variável aleatória em uma distribuição de probabilidade. Framarim (2003) destaca que o método EB permite obter uma nova distribuição de probabilidade para um parâmetro analisado, através da atualização de uma distribuição prévia com informações provenientes do histórico de acidentes do local tratado.

O método EB é muito importante para compensar o fenômeno de regressão à média, FRM, normalmente existente em estudos de segurança viária, permitindo assim, a identificação e exclusão deste efeito. Dentre os problemas mais comuns atribuídos ao FRM estão a escolha errônea de pontos críticos e a superestimação do efeito de intervenções no desempenho da segurança viária. (HAUER, 1997; AASHTO, 2010; FRAMARIM, 2003).

Framarim (2003) e Hauer (1997) ainda reforçam que o objetivo do método EB é encontrar a taxa subjacente de acidentes de cada local. A taxa subjacente de acidentes representa a verdadeira taxa de acidentes, ou seja, a média da distribuição de probabilidade do parâmetro. A comparação da taxa subjacente de acidentes de um determinado local e

do grupo de referência, permite avaliar as alterações no comportamento do local.

Duarte (2012) reforça a partir de estudos desenvolvidos com o manual que, quando os dados de acidentes estão disponíveis para um local específico qualquer, utiliza-se o método empírico de Bayes - EB para estimar a frequência média de acidente esperada para períodos futuros ou passados. O HSM (AASHTO, 2010) também sugere o uso do método EB para refinar os resultados obtidos do modelo, através da combinação da média de acidentes previstos com a média de acidentes observados para calcular o $N_{Estimado}$, de acordo com as seguintes equações:

$$N_{Estimado} = w_i + (1 - w_i) \times N_{observado} \quad (2)$$

$$w_i = \frac{1}{1+k \times (\sum \text{ todos os anos de estudo } N_{previsto,i})} \quad (3)$$

Sendo:

$N_{Estimado,i}$ = número médio estimado de acidentes para o período e local i de estudo;

$N_{Observado,i}$ = número médio observado de acidentes para o período de estudo e local i de estudo;

w_i = peso de ajustamento na estimativa do modelo preditivo analisando o local i ;

k = parâmetro de dispersão da distribuição binomial negativa.

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

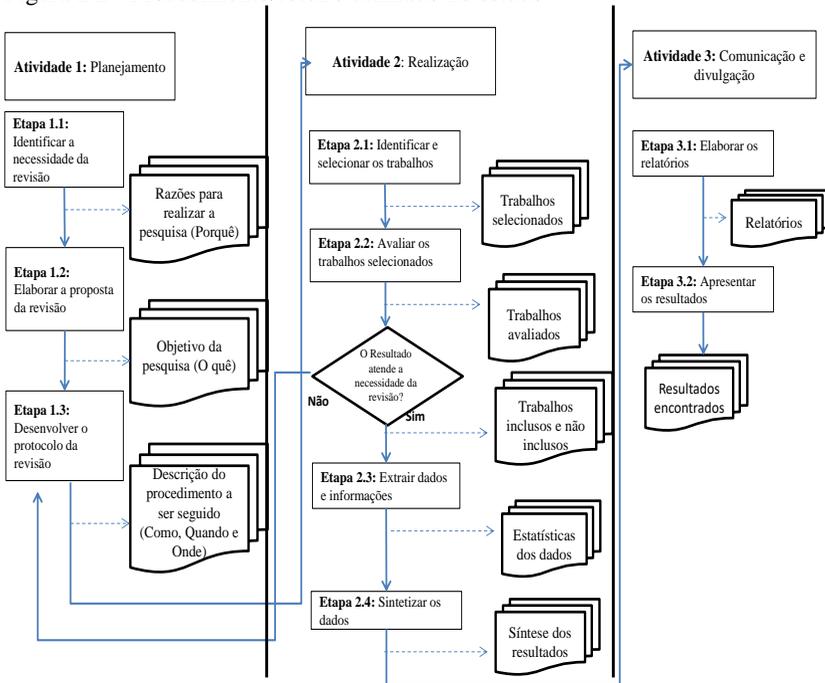
A definição para revisão bibliográfica sistemática adotada neste trabalho é uma adaptação da proposta de Levy e Ellis (2006) realizada por Conforto *et al.* (2011). Tal tipo de revisão é *o processo de coletar, conhecer, compreender, analisar, sintetizar e avaliar um conjunto de trabalhos científicos com o propósito de criar um embasamento teórico-científico (estado da arte) sobre um determinado tópico ou assunto pesquisado.*

Estão disponíveis roteiros, como a proposta de Biolchini *et al.* (2005) e a de Levy e Ellis (2006) com foco na área da tecnologia da informação. Conforto *et al.* (2011), desenvolvem um roteiro de revisão sistemática na área de gestão de operações partindo dos roteiros

anteriormente citados, constituindo o roteiro em três fases: entrada de dados, processamento das informações e saída.

O roteiro utilizado neste trabalho, foi o desenvolvido por Oliveira (2015), em que sua sequência pode ser observada na Figura 2.2.

Figura 2.2 - Procedimento/roteiro utilizado no estudo



Fonte: Oliveira, 2015.

Como pode ser observado, o procedimento é composto por três atividades: planejamento, realização e comunicação e divulgação. A atividade de planejamento é formada por três etapas: identificação da necessidade, elaboração da proposta e desenvolvimento do protocolo de revisão. Já a atividade de realização é constituída por quatro etapas: identificação e seleção dos trabalhos, avaliação dos trabalhos, extração de dados e informações e síntese dos dados. Por fim, a atividade de comunicação e divulgação é composta por duas etapas: a elaboração e a apresentação dos relatórios.

Os itens seguintes deste capítulo, referem-se a aplicação deste procedimento.

2.2.1 Atividade 1 – Planejamento

2.2.1.1 Etapa 1 - Identificar a necessidade da revisão

A identificação da necessidade de elaborar uma revisão vai de encontro com a justificativa do estudo. Diante da grande quantidade e da gravidade dos acidentes, adotar medidas preventivas de gerenciamento que colaborem na redução de acidentes de trânsito vai de encontro na meta da Década de Ação da Segurança Viária. Uma das medidas preventivas é utilizar ou elaborar uma metodologia de previsão de acidentes de trânsito. No Brasil existem pouco estudos específicos do assunto, elaborados de acordo com a realidade estadual. Desta forma, a revisão sistemática buscará trabalhos que envolvam metodologias desenvolvidas para a previsão de acidentes de trânsito em rodovias de pista simples, baseadas no HSM.

2.2.1.2 Etapa 2 - Elaborar a proposta da revisão

A finalidade dessa revisão bibliográfica sistemática é de identificar estudos de previsão de acidentes de trânsito utilizando o método HSM, com destaque maior para estudos com rodovias de pistas simples.

Como objetivos secundários, destaca-se identificar outros modelos existentes de previsão de acidentes de trânsito.

2.2.1.3 Etapa 3 - Desenvolver o protocolo da revisão

O desenvolvimento do protocolo de revisão foi realizado através da seguinte sequência:

- a) Definição das bases/bancos de dados a serem utilizados no levantamento dos dados;
- b) Definição das palavras chaves e suas combinações a serem usadas no levantamento;
- c) Definição de quais tipos de estudos serão considerados e em qual parte deles será feita a busca;
- d) Definição da abrangência temporal e geográfica da busca;
- e) Definição dos critérios para seleção dos artigos/estudos encontrados na pesquisa;
- f) Definição dos critérios de inclusão e exclusão no trabalho dos artigos/estudos anteriormente selecionado.

O protocolo de revisão foi aplicado duas vezes, uma em pesquisa estrangeira e uma no banco de dados com referências nacionais. Seguem resultados da sequência aplicada:

- a) Foram utilizadas as bases de dados Periódicos CAPES, Google Acadêmico, Anais da ANPET/ PANAM/PLURIS, TRID Online, *Science Direct* e Scopus;
- b) No banco de dados da Science Direct foi aplicado um filtro e realizada uma pesquisa diretamente no jornal *Accident Analysis & Prevention*;
- c) Foram usadas as palavras-chaves na busca em língua portuguesa: acidente, previsão de acidente, modelos de previsão de acidentes, segurança viária "e" pista simples e acidentes "e" pista simples. Na busca estrangeira foram utilizadas as palavras : *accident, road safety, road safety and models prediction* e *two lane highways and HSM*.
- d) Foram considerados os estudos do tipo artigos, dissertações e teses disponíveis na base de dados, sendo que a investigação das palavras chaves foi feita no título, resumo e palavras chaves desses estudos;
- e) Não se limitou a busca a alguma abrangência geográfica. Em relação abrangência temporal, foram verificados estudos a partir do ano de 2003 na bibliografia portuguesa e a partir de 2006 na bibliografia estrangeira.
- f) Foram selecionados apenas os trabalhos que se encontravam em língua inglesa e portuguesa;
- g) Após a primeira seleção dos trabalhos, foram aplicados os critérios para a inclusão e exclusão, sendo verificados quais atingiam o objetivo principal ou secundário.

2.2.2 Atividade 2 – Realização

2.2.2.1 Etapa 1 - Identificar e selecionar os trabalhos

Os trabalhos foram identificados e selecionados segundo os critérios descritos no item 2.2.1.3. Ao todo, foram identificados:

- 1) oito trabalhos na base de dados Periódicos CAPES: (i) Duarte (2011); (ii) Silva & Ferraz (2012); (iii) Cardoso & Goldner (2009); (iv) Boffo e Nodari (2011); (v) Cardoso e Goldner (2007); (vi) Claude *et. al* (2012) e, (vii) Sun & Pietantranio (2008);
- 2) vinte e três trabalhos na base de dados do google acadêmico: (i) Moratori *et. al* (2015); (ii) Cardoso e Goldner (2007); (iii) Cunto *et. al.* (2012); (iv) Mânica (2007); (v) Claude (2012); (vi) Cardoso (2006); (vii) Costa (2014); (viii) Cunto *et. al.* (2013); (ix) Sobreira (2013); (x) Costa (2013); (xi) Boffo (2011); (xii)

- Torres & Cunto 2013); (xiii) Costa (2012); (xiv) D'Avila (2014); (xv) Nodari (2003); (xvi) Silva (2011); (xvii) Gomes *et al.* (2014); (xviii) Claude *et al.* (2013); (xix) Waihrich (2016); (xx) Silva (2015); (xxi) Alvarenga (2015); (xxii) Barbosa (2014) e, (xxiii) Andrade (2011);
- 3) onze trabalhos na base de dados TRID online: (i) Saito *et al.* (2015); (ii) Shin *et al.* (2015); (iii) Shin *et al.* (2015); (iv) Kaaf (2015); (v) Barber (2014); (vi) Russo *et al.* (2014); (vii) Brown (2014); (viii) Sun *et al.* (2013); (ix) Jasiuniene & Cygas (2013); (x) Sacchi *et al.* (2012); Schrock e Wang (2014); (xi) Miaou (2013); (xii) Banihashemi (2011); (xiii) Saito *et al.* (2011); (xiv) Xie *et al.* (2011); e, (xv) Sun *et al.* (2006).
 - 4) doze trabalhos encontrados diretamente nos portais da ANPET/PANAN e PLURIS: (i) Silva & Ferraz (2011); (ii) Fuji & Pietrantonio (2011); (iii) Pedroso & Sant'Ana (2011); (iv) Flórez *et al.* (2008); (v) Torres & Cunto (2015); (vi) Waihrich & Andrade (2015); (vii) Santos *et al.* (2014); (viii) Costa e Barbosa (2014); (ix) D'Avila *et al.* (2014); (x) Torquato & Larocca (2014); (xi) Schuch *et al.* (2015) e, (xii) Souza & Sorratini (2015).
 - 5) dois trabalhos encontrados na base de dados Science Direct: (i) Williamson & Zhoua (2012) e, (ii) Shirazi *et al.* (2016); (iii) Park & Abdel (2015); (iv) Saha *et al.* (2015) e, (v) Farid *et al.* (2016).
 - 6) onze trabalhos encontrados na base de dados scopus: (i) Sacchi *et al.* (2012); (ii) Saito *et al.* (2011); (iii) Sun *et al.* (2006); (iv) Costa *et al.* (2015); (v) Wang & Yao (2015); (vi) Deublein *et al.* (2014); (vii) La Torre *et al.* (2014); (viii) Costa *et al.* (2016); (ix) Imprialou *et al.* (2016); (x) Park & Abdel (2015); (xi) Lou (2013);

No entanto, alguns trabalhos foram encontrados em mais de uma base e/ou referem-se a artigos originados de dissertações ou teses. Desconsiderando essas duplicidades, chegou-se ao total de 35 trabalhos.

2.2.2.2 Etapa 2 - Avaliar os trabalhos selecionados

Os trabalhos selecionados acima foram lidos com o objetivo de verificar se atendiam na íntegra os critérios de inclusão/protocolo de pesquisa, para então, poder definir a inclusão final no trabalho. Caso não tenha ficado claro pela leitura os objetivos para utilização, esses trabalhos foram lidos na íntegra para uma melhor avaliação.

Os trabalhos finais que foram selecionados para a pesquisa foram 35. Destes, para inclusão e utilização como referência nesta fase do trabalho, foram selecionados 20 estudos.

2.2.2.3 Etapa 3 - Extrair dados e informações

Na etapa 3, os trabalhos utilizados na revisão bibliográfica sistemática foram classificados de acordo com fontes de publicação, o ano de sua publicação, a sua abordagem regional e metodológica.

Em relação à distribuição dos 19 trabalhos segundo suas fontes de publicação, 8 (42,10%) deles foram publicados em repositórios de universidades, 4 (21,05%) em congressos e/ou conferências, 4 (21,05%) por revistas e periódicos e 3 (15,80%) por Departamentos de Transportes de estados americanos.

No que se refere ao ano de publicação dos trabalhos, segundo essa revisão, um dos primeiros trabalhos com esse tema foi abordado pela primeira no Brasil em 2006, através do trabalho de Cardoso (2006). Em relação a bibliografia estrangeira, destaca-se a modelagem de previsão de acidentes para rodovias de pista simples abordada por Sun *et. al.* (2006).

No que tange a abordagem regional, os artigos se originaram nos EUA, na República da China, na Itália e Portugal. No que tange à abordagem metodológica todos os trabalhos (100%) realizam uma aplicação dos conceitos pesquisados e apresentaram uma seção de revisão bibliográfica.

2.2.2.4 Etapa 4 - Sintetizar os dados

Os 35 trabalhos previamente selecionados estão sintetizados no quadro 2.2. Destes, os 20 que estão com * serão brevemente apresentados nesta fase do trabalho.

Quadro 2.2 – Trabalhos selecionados na revisão bibliográfica sistemática

TRABALHOS SELECIONADOS						
Banco de dados	Título	Autores	Fonte/ Ano	Modelo	Tipo de via	
CAPIES	*Oportunidades de conflito de tráfego: modelos de previsão	Sun Hsien Ming	USP, 2008	Procedimento TRAF-Safe	Interseções urbanas	
CAPIES	*Formatos e técnicas de modelos de previsão de acidentes de trânsito	Gabriela Holz Boffo	UFRGS, 2011	Distribuição binomial negativa	Rodovias de pista simples	
Google Acadêmico	*Previsão da ocorrência de acidentes de trânsito e interseções de vias arteriais urbanas - O caso de Taguatinga/DF	Giovana Freire de Moura Claude	UNB, 2012	Equações de estimativas generalizadas	Vias arteriais urbanas	
Google Acadêmico	*Modelos para previsão de acidentes de trânsito em vias arteriais urbanas	Gilmar Cardoso	UFRGS, 2006	Modelagem Linear Generalizada c/ distr. de Poisson	Vias arteriais urbanas	
Google Acadêmico	*Aplicação do método de previsão de acidentes do HSM em interseções do meio urbano	Rui Miguel Silva Duarte	FEUP, 2012	HSM	Interseções urbanas	
Google Acadêmico	*Transferência de modelos de previsão de acidentes entre cidades brasileiras	Flávio J. C. Cunto, Christine T. Nodari & Heloisa M. Barbosa	ANPET XXVII, 2013	Distribuição binomial negativa	Interseções urbanas	
Google Acadêmico	*Acidentes rodoviários do tipo de colisões nas estradas nacionais na região do Minho: Modelos de previsão para segmentos rodoviários	Jocilene O. Costa, Maria A. P. Jacques, Elisabete F. Freitas & Paulo A.A. Pereira	Repositório UM (Minho), 2013	Equações de estimação generalizadas	Rodovias de pista simples	
Google Acadêmico	Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples	Christine Tessele Nodari	UFRGS, 2003	-	Rodovias de pista simples	
Google Acadêmico	*Aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM em rodovias de pista simples do Estado de São Paulo	Karla Silva	USP, 2011	HSM	Rodovias de pista simples	
Google Acadêmico	*Análise exploratória para a modelagem da frequência de acidentes de trânsito agregados ao nível de zonas de tráfego	Marcos J. T. L. Gomes, Caio A. Torres, Francisco M. de Oliveira Neto & Flávio J. C. Cunto	ANPET XXVIII, 2014	Regressão binomial negativa	Zonas de tráfego	

(...) Cont.

Quadro 2.2 – Trabalhos selecionados na revisão bibliográfica sistemática

Banco de dados		Título		Autores		Fonte/ Ano	Modelo	Tipo de via
Google Acadêmico	Modelos de previsão de acidentes para interseções de três ramos em zonas urbanas e periurbanas	Rafael André Barreto Silva	Repositório UM (Minho), 2015	Modelo linear generaliz. 0/inflacionado, c/distr. binomial neg. e de Poisson	Interseções urbanas e periurbanas de rodovias			
Google Acadêmico	*Calibração do método de previsão de acidentes do Safety Manual para trechos rodoviários de pista dupla do Brasil	Daniele Roewer Lagemann da Silva Wainrich	UNB, 2016	HSM	Rodovias de pista dupla			
TRID	*Crash Prediction Modeling for Curved Segments of Rural Two-Lane Two-Way Highways in Utah	Mitsuru Saito, Casey S. Knecht, Grant G. Schultz & Aaron A. Cook	Utah Department of Transp. Traffic & Safety, Research Divisions, 2015	HSM e regressão binomial negativa	Rodovias de pistas simples			
TRID	Results and Lessons from the Local Calibration Process of the HSM for the State of Maryland	Hyeon-Shic Shin, Seyedehsan Dadvar & Young-Jae Lee.	Journal of the Transp. Research Board, 2014	HSM	Rod. de pista simples/dupla/art eriais urb. e suburb.			
TRID	Calibration of the Highway Safety Manual Models for Québec	Patrick Barber	Conf and Exhibition of the Transp. Assoc. of Canada	HSM	Rodovias de pista simples e dupla			
TRID	Assessing Transferability of Highway Safety Manual Crash Prediction Models to Data from Italy	Francesca Russo, Mariarosaria Busiello, Salvatore Biancardo & Gianluca Dell'Acqua.	Journal of the Transp. Research Board	HSM	Rodovias de pista simples			
TRID	Nuts and Bolts of Statewide HSM Calibration	Brown, Sun, Henry Carlos Edara, Praveen	Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, 2014	HSM	Pista simples/dupla, vias arteriais urb./sub			
TRID	Calibration of the Highway Safety Manual for Missouri	Carlos Sun, Henry Brown, Praveen Edara, Boris Claros & Kyoungmin Nam	Missouri Department of Transportation, 2013	HSM	Rodovias de pista simples, dupla e vias arteriais urb./sub			
TRID	Assessing International Transferability of "HSM" Crash Prediction Algorithm and Its Components	Emanuele Sacchi, Bhaagwant Persaud & Marco Bassani	Journal of the Transp. Research Board, 2012	HSM	Rodovias de pista dupla			

(...). Cont.

Quadro 2.2 – Trabalhos selecionados na revisão bibliográfica sistemática

Banco de dados	Título	Autores	Fonte/ Ano	Modelo	Tipo de via
TRID	Evaluation of Interactive Highway Safety Design Model Crash Prediction Tools for Two-Lane Rural Roads on Kansas Department of Transp. Projects	Steven Schrock & Ming-Heng Wang	Kansas Department of Transportation, 2014	HSM	Rodovias de pista simples
TRID	*Transportation Safety Data and Analysis, Volume 2: Calibration of the Highway Safety Manual and Development of New Safety Performance Functions	Mitsuru Saito, Bradford K. Brimley & Grant G. Schultz	Utah Department of Transportation Traffic & Safety, 2011	HSM, modelagem bayesiana binomial hierárquica, distribuição binomial negativa	Rodovias de pista simples
TRID	*Highway Safety Manual, new model parameters vs. calibration of crash prediction models	Mohamadrez Banihashemi	Transp. Research Board 90th Annual Meeting, 2011	HSM	Rodovias de pista simples
TRID	*Calibrating the Highway Safety Manual predictive models for Oregon state Highways	FeiXie, Karen Dixon, Chris Monsere & Kristie Gladhill	Oregon Department of Transportation, 2011	HSM	Rod. de pista simples, dupla e vias arteriais urbanas e suburb.
TRID	*Application of "Highway Safety Manual" Draft Chapter: Louisiana Experience	Xiaoduan Sun, Yuebin Li, Dan Magri & Hadi H Shirazi.	Journal of the Transp. Research Board, 2006	HSM	Rodovias de pista simples
ANPET/PANA M	Avaliação do desempenho da segurança viária com utilização de modelos de previsão em redes viárias urbanas	Caio Assunção Torres & Flávio José Craveiro Cunto	ANPET XXIX, 2015	Distribuição binomial negativa	Interseções urbanas
ANPET/PANA M	*Avaliação da transferibilidade de modelos de previsão de acidentes para vias urbanas em Belo Horizonte	Thiago Gonçalves da Costa & Heloisa Maria Barbosa	ANPET XXVIII, 2014	HSM	Interseções urbanas
ANPET/PANA M	O efeito da regressão a média no processo de previsão de acidentes em interseções urbanas da área central de BH	Rogério D'Avila, Thiago Gonçalves da Costa & Heloisa Maria Barbosa	ANPET XXVIII, 2014	HSM	Interseções urbanas
SCIENCE DIRECT	*Develop Calibration Factors for Crash Prediction Models for Rural Two-Lane Roadways in Illinois	Michael Williamson, Huanguo Zhou	8th Inter. Conf. on Traffic and Transp. Studies Changsha, China, August-12	HSM	Rodovias de pista simples

(...) Cont.

Quadro 2.2 – Trabalhos selecionados na revisão bibliográfica sistemática

Banco de dados	Título	Autores	Fonte/ Ano	Modelo	Tipo de via
SCIENCE DIRECT	*Sample-Size Guidelines for Recalibrating Crash Prediction Models: Recommendations for the Highway Safety Manual	MohammadaliShirazi, Dominique Lord, SrinivasReddyGeedipally	Accident Analysis & Prevention. Volume 93, August 2016	HSM	Rodovia de pista dupla interseções urbanas
SCIENCE DIRECT	*Priorizing Highway Safety Manual's Crash Prediction Variables using Boosted Refresion Trees.	Dibakar Saha, Priyanka Alluri, Albert Gan.	Accident Analysis & Prevention. Volume 79, June 2015	HSM e método baseado em árvores de regressão	Rod. de pista simples, dupla e vias arteriais urbanas e suburb.
SCOPIUS	Prediction of road accidents: comparison of two Bayesian methods	Deublein, M., Schubert, M., Adey, B.T.	Structure and Infrastructure EngineeringVol. 10, Issue 11, 1-11-2014	Método EB e Redes Probabilísticas Bayesianas	pista simples e dupla (com duase+ faixas por sentido)
SCOPIUS	Transferability of the Highway Safety Manual freeway model to the Italian motorway network	La Torre, F., Domenichini, L., Corsi, F., Fanfani, F.	Transportation Research Record Volume 2435, 2014	HSM	Pista dupla
SCOPIUS	Integration of geometric consistency contributory factors in three-leg junctions collision prediction models of Portuguese two-lane national highways	Da Costa, J.O., Jacques, M.A.P., Soares, F.E.C., Freitas, E.F.	Accident Analysis and Prevention . Volume 86, January 2016	Equações de Estimativas Generalizadas e distribuição binomial negativa	pista simples
SCOPIUS	Predicting the safety impact of a speed limit increase using condition-based multivariate Poisson lognormal regression	Imprialou, M.,I.M., Quddus, M., D.E., Pfitfield,	Transportation Planning and technology. Volume 39, Issue 1, January 2016	Regressão logarítmica-normal multivariada de Poisson	pista simples e dupla
SCOPIUS	*Development of adjustment functions to assess combined safety effects of multiple treatments on rural two-lane roadways	Park, J., Abdel-Aty, M.	Analysis and Prevention. Volume 75, February 2015	HSM	Pista simples
SCOPIUS	Calibration and development of safety performance functions for alabama	Mehta, G., Lou, Y.	Transportation Research Record (2398). 2013	HSM	Pista simples e dupla

Fonte: Autora.

2.2.3 Atividade 3 - Comunicação e Divulgação

A etapa de comunicação e divulgação é composta pela elaboração de relatório. Neste caso, a síntese e resultados dos estudos selecionados, e, pela publicação final do projeto. A publicação final será obtida a partir da apresentação da dissertação à banca examinadora com o objetivo da obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Transportes.

A etapa de elaboração dos relatórios é resignada à elaboração da fundamentação teórica a partir dos estudos selecionados. Pode ser observada a partir do item 2.2.3.1.

2.2.3.1 Apresentação os resultados

Na pesquisa sistemática foram selecionados alguns trabalhos recentes brasileiros de métodos preditivos que buscam avaliar a potencialidade nas vias. Um dos primeiros trabalhos desenvolvidos foi por Cardoso (2006) em que apresenta modelos de previsão de acidentes de trânsito em vias arteriais urbanas da cidade de Porto Alegre. Na sequência, outros trabalhos se destacaram como o de Ming (2008) que estudou oportunidade de conflito de tráfego baseados em modelos de previsão de acidentes de trânsito; a de Boffo (2011) intitulado como formatos e técnicas de modelos de previsão de acidentes de trânsito; Costa & Barbosa (2014) verificaram a transferibilidade de modelos para interseções na cidade de Belo Horizonte/MG; Silva (2011) com a aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM em rodovias de pista simples do Estado de São Paulo; Cunto *et. al.* (2012) desenvolveram um modelo de previsão de acidentes para interseções semaforizadas de Fortaleza/CE; Claude (2012) apresentou modelos de previsão de acidentes para interseções de vias arteriais urbanas em Taguatinga/DF; Cunto *et. al.* (2013) testaram a transferência de modelos de previsão de acidentes entre cidades brasileiras; Gomes *et. al.* (2014) realizando uma análise exploratória para a modelagem da frequência de acidentes de trânsito agregados ao nível de zonas de tráfego e Waihrich (2006) desenvolvendo método de previsão de acidentes baseado no *Highway Safety Manual* (HSM) para trechos rodoviários de pista dupla no Brasil.

Na bibliografia estrangeira um dos primeiros trabalhos com o desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes de trânsito para rodovias de pista simples foi elaborado por Sun *et. al.* (2006), em que avaliaram a aplicabilidade do método de previsão do número de acidentes do HSM em rodovias no estado da Louisiana, nos Estados Unidos. Na sequência, se destacaram os trabalhos de Banihashemi (2011) que

abordou os parâmetros e a calibração dos modelos de previsão; Xie *et. al.* (2011) apresentaram fatores de calibração para todos os tipos de vias do HSM, incluindo a de rodovias de pista simples; Saito *et. al.* (2011) calibraram o modelos de previsão de acidentes para rodovias de pista simples de Utah; Sacchi (2012) objetivara avaliar a transferibilidade do modelo HSM para rodovias italianas; Duarte (2012) que aplicou o manual americano em interseções do meio urbano em Portugal; Williamson & Zhou (2012) desenvolveram fatores de calibração para as funções de desempenho de segurança em rodovias rurais de pista simples no Estado de Illinois; Costa *et. al.* (2013) estudaram os principais fatores contribuintes para a ocorrência de colisões na região do Minho em Portugal; Saito *et. al.* (2015) que complementaram o trabalho de 2011 em Utah, avaliando modelos de previsão para trechos em curvas de rodovias também de pista simples do estado de Utah; Park & Abdel-Aty (2015) desenvolveram modelos de previsão de acidentes de trânsito em segmentos de rodovias de pistas simples em Portugal; e, Shirazi *et. al.* (2016) que analisaram o tamanho da amostra de segmentos e acidentes indicados no modelo do HSM.

Na sequência estão os trabalhos selecionados para compor a base teórica deste estudos. Alguns trabalhos são apresentados de forma resumida, apenas para exemplificar os modelos de previsão de acidentes que vem se desenvolvendo ao longo do tempo. Estes, podem ser observados na sequencia inicial da descrição dos estudos.

- *Application of “Highway Safety Manual” Draft Chapter: Louisiana Experience // Aplicação do Manual de Segurança Rodoviária: Experiência em Louisiana.*

No estudo de Sun *et. al.* (2006), os autores avaliaram a aplicabilidade do método de previsão do número de acidentes do HSM (AASHTO, 2010) em rodovias no estado da Louisiana, nos Estados Unidos. Foi concluído que o método apresenta uma aplicabilidade satisfatória, com os números previstos de acidente alcançando os números reais nos locais estudados. Foi aplicado o método empírico de Bayes para realizar o refinamento dos dados, aferindo a eficácia deste refinamento para a redução dos efeitos da flutuação aleatória na contagem dos acidentes. Em relação a calibração do modelo foi verificado que maiores parâmetros de calibração aconteceram em trecho com o volume de tráfego médio diário anual - VDMA inferior a 1000 enquanto que menores parâmetros ocorreram em trechos com um VDMA superior a 10000. Nos resultados finais ainda foi discutido a possibilidade de simplificação do

processo de calibração e a necessidade de uma medida para garantir a confiabilidade.

➤ Oportunidades de conflito de tráfego: Modelos de Previsão.

Ming (2008) desenvolveu e propôs modelos matemáticos para estimar o nível de segurança de interseções, semaforizadas ou não, aplicando o conceito de oportunidade de conflito de tráfego. Os modelos que usam esse conceito apenas necessitam de dados operacionais das interseções. Este trabalho procurou dar uma ênfase especial a segurança dos pedestres e foram selecionadas duas interseções em São Paulo para o estudo, uma de sinalização de prioridade (sem semáforo) e outra com sinalização semaforizada. O modelo aplicado utilizou o *software TRAF-Safe* desenvolvido através de KAUB (2005) com variações para testes, como o desenvolvimento por Ming (2008) de 10 métodos utilizando a premissa de conflitos angulares e 11 métodos utilizando a de conflitos traseiros. O *software TRAF-Safe* que foi utilizado, trabalha com o conceito de oportunidade de conflito de tráfego para desenvolver estimativas do nível de segurança e projeções de quantidade e severidade de acidentes. Como a documentação deste programa oferece apenas detalhes sumários para pedestres, foram utilizados outros métodos para o desenvolvimento dos 7 modelos de conflitos que envolvem colisões com pedestres do estudo. Nesses conflitos foram utilizadas formulações baseadas nos trabalhos de Zhang & Prevedouros (2003), HA & BERG (1995), e o modelo de ocupância de Milazzo (1998), que estima a interferência que os pedestres causam na capacidade da interseção e assim, verifica a oportunidade de conflito entre veículos e pedestres. Esses e outros estudos que foram utilizados como base para o desenvolvimento de modelos podem ser melhor observados no trabalho de Ming (2008).

➤ *Highway Safety Manual, new model parameters vs. calibration of crash prediction models* // Manual de Segurança Rodoviária, novos parâmetros de modelos versus calibração de modelos de previsão de acidentes.

No estudo elaborado por Banihashemi (2011), é apresentado um procedimento para o desenvolvimento de fatores SPFs e CMFs para segmentos de estradas de pista simples do estado de Washington. Os fatores são da metodologia do *Highway Safety Manual*, sendo que os resultados aplicados são comparados com os dados reais. A malha de rodovias selecionadas alcançam 5.000 milhas, equivalendo a quase 8.050

quilômetros de extensão, sendo divididas em duas partes para compor dois conjuntos de dados. Uma parcela (metade) dos dados é utilizada para calibrar o modelo HSM (AAHSTO, 2010) para as condições do estado Washington, enquanto que a outra parcela é utilizada para comparar os novos modelos de predições para a previsão do modelo calibrado. Os resultados apresentaram que os novos modelos são tão bons quanto o modelo calibrado do manual do HSM. Foi realizada ainda uma análise de sensibilidade no conjunto de dados mínimo que é recomendado pela metodologia preditiva.

- *Calibrating the Highway Safety Manual predictive models for Oregon state highways* // Calibrando modelos preditivos do Manual de Segurança Rodoviária para rodovias do estado de Oregon.

Xie *et. al.* (2011) desenvolveram fatores de calibração específicos para o estado do Oregon, nos Estados Unidos. Os fatores foram desenvolvidos para todos os tipos de vias incluídas no HSM (AASHTO, 2010), ou seja, para rodovias de pistas simples, para rodovias de pista dupla (com duas ou mais faixas por sentido) e vias arteriais urbanas e suburbanas. O estudo apresenta métodos de seleção dos locais, coleta e registro de acidentes, análise da calibração e uma avaliação da gravidade de acidentes e seus métodos de distribuição.

- Previsão da ocorrência de acidentes de trânsito em interseções de vias arteriais urbanas: o caso de Taguatinga/DF

Claude (2012) desenvolveu em seu trabalho, um modelo de previsão de acidentes para interseções localizadas em vias arteriais urbanas da cidade de Taguatinga/DF, com dados de tráfego do período de 2005 a 2010. Para a calibração de modelos, foi utilizada a técnica de equações de estimação generalizadas. Foram observados que os modelos de previsão de acidentes que melhor se adequaram aos dados, revelaram a influência do VDMA na frequência de acidentes. Na amostra 01 analisada, os modelos simplificados testados que resultaram em uma melhor qualidade de ajuste foi a que considerou como variável explicativa o volume de tráfego. Já na amostra 02, foi a que incluiu a variável ligada à presença de equipamentos de fiscalização eletrônica.

- Aplicação do método de previsão de acidentes do *Highway Safety Manual* em interseções do meio urbano.

Duarte (2012) aplicou o método de previsão de acidentes do HSM (AASHTO, 2010) em 12 interseções urbanas da cidade de Porto em Portugal, utilizando dados de acidentes do período de 2002 a 2011. Foi verificado um elevado desajuste no valor previsto de acidentes com o observado, justificado pelo autor pelas características das interseções, pois foram utilizados critérios simplificados para a modelagem. Embora os resultados obtidos neste trabalho não tenha se aproximado dos dados observados, a metodologia do manual americano depende da disponibilidade e neste caso, da qualidade dos dados.

- Acidentes rodoviários do tipo colisões nas estradas nacionais na região do Minho: modelos de previsão para segmentos rodoviários

Neste trabalho Costa *et. al.* (2013) estudam os principais fatores contribuintes par a ocorrência de colisões ocorridas na região norte portuguesa, no período de 1999 ao 2010. Foram analisando os parâmetros de frequência, tráfego e características geométricas em 88 segmentos de 200m de rodovias nacionais de pista simples. O procedimento de modelagem utilizado, foi baseado em equações de estimativas generalizadas com aplicação a cinco bases de dados distintas. Os resultados do estudo apresentaram que os principais fatores para a ocorrências dos acidentes foram o volume médio diário anual (VDMA), sinuosidade vertical e densidade de pontos de acesso. No modelo de estimação desenvolvido, realizando os ajustes de qualidade, pode-se observar que com dados agrupados por um período de 4 anos, pode-se produzir um modelo de previsão de colisões aceitável.

- Análise exploratória para a modelagem da frequência de acidentes de trânsito agregados ao nível de zonas de tráfego

Gomes *et. al.* (2014) apresentam uma análise exploratória das variáveis que contribuem em modelos da segurança viária, partindo de uma base de dados de 126 zonas de tráfego constituídas a partir de dados socioeconômicos, características de acidentes e da rede. Em uma das etapas, foi aplicado o modelo de regressão binomial negativa, afim de identificar variáveis predictoras. Os resultados mostraram que os acidentes estão relacionados com a renda e atividade econômica e com atributos físicos e de operação da rede.

- *Development of adjustment functions to assess combined safety effects of multiple treatments on rural two-lane roadways // Desenvolvimento de funções de ajustes para avaliar os efeitos de segurança de combinações de múltiplos tratamentos em rodovias rurais de duas faixas.*

Park & Abdel-Aty (2015) desenvolveram modelos de previsão de acidentes de trânsito em segmentos de rodovias de pistas simples nacionais de Portugal que possuem uma faixa de tráfego adicional, utilizada para as conversões a esquerda. Os métodos utilizados para a modelagem foram o de equações de estimativas generalizadas e regressão binomial negativa. Foram utilizados dados de acidentes e tráfego do período de 2008 a 2010 de 177 segmentos de rodovias que possuem a faixa adicional. Foi observado nas modelagens que os fatores mais significativos foram o volume de tráfego e as características do ambiente em que está inserido o segmento analisado. Neste estudo ainda foram desenvolvidos diversas funções de fatores de modificação para serem inseridos nas equações de desempenho de segurança. Esses fatores foram obtidos a partir de diversas combinações, a partir do tratamento de algumas características das rodovias analisadas.

- Modelos para previsão de acidentes de trânsito em vias arteriais urbanas.

Cardoso (2006) desenvolveu modelos de previsão de acidentes de trânsito para vias arteriais urbanas da cidade Porto Alegre, considerando dois tipos de acidentes: colisão e atropelamento. Os modelos determinam o valor anual esperado de acidentes de trânsito a partir de condicionantes viário-ambientais consideradas no estudos.

Para realizar a escolha dos trechos do estudo, foi realizada uma análise espacial dos acidentes de trânsito nas vias de Porto Alegre entre os anos de 1998 a 2004, utilizando o software de sistema de informações geográficas- SIG. Através do SIG, foram determinados os segmentos com maior ocorrência de cada tipo de acidente selecionado: 38 trechos com acidentes do tipo colisão e 39 trechos com acidentes do tipo atropelamento. A análise foi realizada em cada sentido da via, portanto, totalizando 73 trechos para colisão e 74 trechos para atropelamentos, com 24,5km e 15,0km de extensão, respectivamente.

As condicionantes viário-ambientais foram selecionadas a partir de dados de exposição de riscos de alguns estudos e da observação *in loco*

das variáveis que poderiam influenciar na incidência de acidentes. Foram consideradas inicialmente 20 variáveis, porém, as que foram mais significativas podem ser observadas na tabela abaixo. O método utilizado para o desenvolvimento dos modelos foi o linear generalizado, também conhecido como *Generalised Linear Modelling*, através do modelo de distribuição de Poisson. A estruturação e o processamento de dados foi realizado através do pacote computacional de software SAS.

O primeiro passo para realizar o processamento de dados e a estruturação de modelos foi codificar os valores de cada variável, valores estes que podem ser observados na Tabela 2.2. A coluna A representa o menor valor observado da amostra enquanto que a coluna B, representa o maior valor. Os modelos foram estruturados para 10 variáveis de resposta: (i) total de acidentes, (ii) total de acidentes no período diurno, (iii) total de acidentes no período noturno, (iv) total de acidentes em dias com condições boas de tempo (v), total de acidentes em dias chuvosos, (vi) UPS total dos acidentes, (vii) UPS em acidentes do período noturno, (ix) UPS em acidentes em dias com tempo bom e, (x) UPS em acidentes de dias chuvosos.

Tabela 2.2 - Variáveis significativas para os modelos de previsão desenvolvidos e valores de codificação.

Variável	Descrição	Colisão		Atropelamento	
		A	B	A	B
Vol_veic	Volume médio diário de veículos	6878	37286	962	38924
P-motos	% de motocicletas	3,26	9,28	--	--
P_pes	% de veículos pesados	1,74	22,03	--	--
P_TANF	% de travessia durante o verde e sobre a faixa de segurança	--	--	9	79
P_TAFF	Percentual de travessia durante o verde, mas fora da faixa	--	--	3	45
Fl_ped_h	Fluxo horário de pedestres	--	--	55	4395
V85	Velocidade no 85º percentil	44,2	79,2	--	--
Comp_tot	Comprimento total do segmento	121	595,3	35	480
Larg_tot	Largura total do segmento	0	11,9	--	--
Pav_rr	Pavimento ruim ou irregular	0	1	0	1
Veget_peq	Densidade de vegetação lateral pequena	0	1	--	--
Veget_m_g	Densidade de vegetação lateral classificada como médio/grande	0	1	0	1
PO	Existência de parada de ônibus	0	1	--	--
V_ac_tot	Volume de veículos que acessam a via	0	17187	--	--
V_cruz_sem	Volume de veículos em cruzamentos semaforizados	0	40125	--	--
V_cruz_n_sem	Volume de veículos em cruzamentos não semaforizados	0	1100	--	--
V_cruz	Volume de veículos cruzando a via	0	40125	--	--

Fonte: Adaptado de Cardoso & Goldner, 2007. p. 48.

Alguns modelos não foram gerados utilizando todas as variáveis de resposta, devido a menores quantidades de acidentes registradas em algumas dessas variáveis e pela dificuldade de modelar a média do valor total de acidentes.

Após a estruturação dos modelos foi verificada a contribuição de cada condicionante observada para a média anual de acidentes determinada em cada modelo de previsão. Para o modelo UPS em atropelamentos, as variáveis com maiores porcentagens de participação no valor total da variável resposta foram: comprimento total do segmento com 45%, volume médio diário de veículos com 15,7%, fluxo horário de pedestres com 14,3%, percentual de travessia durante o verde e sobre a faixa de segurança com 12,3% e pavimento ruim ou regular com 7,5%. Para o modelo UPS de colisões, as variáveis com maiores porcentagens foram: comprimento total do segmento com 27,9%, volume médio diário de veículos com 17,0%, volume de veículos em cruzamentos não semaforizados com 15,8%, largura total da via com 12,7% e veículos em cruzamentos semaforizados com 10,4%. No segundo modelo do tipo colisões, considerando o total de colisões, as variáveis que mais se destacaram foram: comprimento total do segmento com 18,3%, volume médio diário dos veículos com 17,6%, largura total da via com 10,5%, percentual de motocicletas com 10% e velocidade no 85º percentil.

O passo final foi calculado o valor da taxa anual de acidentes pelos modelos e comparado ao valor da taxa observada em cada segmento. Os resultados da comparação foram analisados a partir do erro percentual médio, erro absoluto médio e do erro absoluto percentual médio.

- Formatos e técnicas de modelos de previsão de acidentes de trânsito.

No trabalho desenvolvido por Boffo (2011), a autora apresenta um levantamento teórico e metodológico dos modelos de previsão de acidentes, identificando as principais técnicas, variáveis adotadas e limitações, analisando ainda os pontos mais influentes dos modelos. O estudo foi desenvolvido em um trecho de 214 quilômetros da rodovia RS-290, caracterizada por ser de pista simples com a existência de terceira faixa em alguns trechos e administrada pelo Consórcio Univias. Os dados utilizados foram nos anos de 2008, 2009 e 2010.

Foram realizados dois artigos no trabalho, sendo que o primeiro, apresentou um levantamento dos estudos envolvendo o tema de previsão de acidentes, salientando as limitações de cada modelagem e analisando as variáveis usadas e as mais influentes. Esta etapa do estudo possibilitou

entender a evolução dos tipos de modelagens, começando com modelos de regressão linear múltipla e posteriormente modelos lineares generalizados, com destaque para os que utilizam a distribuição de Poisson e a distribuição binomial negativa.

No segundo artigo é apresentada uma aplicação de uma modelagem em um segmento da rodovia RS-290, a fim de comparar duas abordagens diferentes de frequência de acidentes de trânsito. Foram utilizados como variáveis no modelos, o VDMA, o comprimento do segmento da rodovia, se o trecho possui curva, se o trecho possui interseção, se o trecho possui curva vertical, largura da rodovia e porcentagem de caminhões. Na primeira abordagem foi estimado a ocorrência de acidentes em segmentos da via com as mudanças nas características dos elementos de infraestrutura.

Na segunda abordagem, foi relacionada a frequência de acidentes de um único elemento (por entidade, neste caso curva e interseção) de infraestrutura da via com base em uma variável de volume de tráfego. O objetivo era comparar as duas modelagens e verificar se modelos por entidade utilizando apenas a variável de volume de tráfego apresentam resultados semelhantes ou não aos modelos de múltiplas variáveis. As modelagens foram realizadas utilizando modelos lineares generalizados, com destaque para os que apresentam a distribuição binomial negativa. Como resultado das comparações, gerado a partir da análise utilizando o critério estatístico *Akaike Information Criterion*¹, os modelos específicos por entidade apresentaram melhores ajustes que os segmentos que se baseiam em múltiplas variáveis.

- *Transportation Safety Data and Analysis, Volume 2: Calibration of the Highway Safety Manual and Development of New Safety Performance Functions.* // Dados e Análises de Segurança em Transportes, Volume 2: Calibração do Manual de Segurança Rodoviário e Desenvolvimento de Novas Funções de Desempenho de Segurança.

No estudo desenvolvido por Saito *et. al.* (2011) foi utilizado o método preditivo do HSM (AASHTO, 2010) para modelagem da acidentabilidade de rodovias de pista simples no estado de Utah. Também

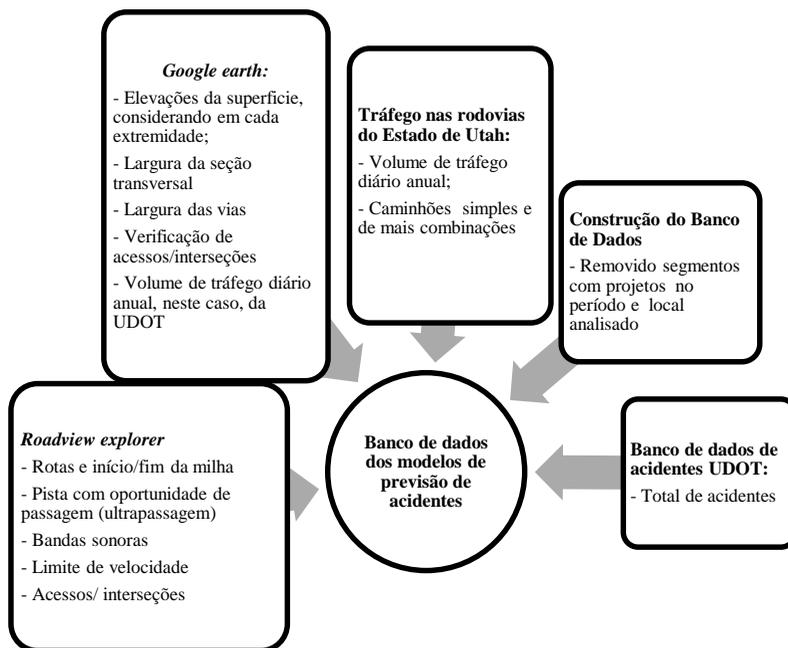
¹ O Akaike Information Criterion (critério de informação de Akaike- AIC) permite escolher dentre um grupo de modelos avaliados, o que possui maior aproximação com os dados reais. Foi desenvolvido a partir da distância de Kullback-Leibler, conhecida como a distância entre o modelo verdadeiro e o modelo criado.

foi desenvolvido um modelo usando a técnica de modelagem bayesiana binomial hierárquica para avaliar a frequência de acidentes (também conhecida através da combinação das técnicas de modelo binomial negativo com aplicação do método empírico de Bayes) e quatro modelos binomiais negativos. Ambos os modelos se basearam em trechos de tangente de rodovias. Foram selecionados 157 segmentos de rodovias no estado de Utah com dados de acidentes do período de 2005 a 2007. O objetivo deste volume publicado foi de desenvolver funções de desempenho de segurança, para prever falhas e identificar locais com alta frequência de acidentes. Conforme apontado no estudo através da *National Highway Transportation Safety Administration* (NHTSA), das 33808 mortes ocasionados por acidentes de trânsito na América em 2009, 57% ocorreram em estradas rurais.

Na seção 2.2 do estudo, os autores enfatizam e discutem a necessidade de calibrar modelos específicos para cada jurisdição, conforme também preconiza a AASHTO.

Na figura 2.3, podem ser observados os componentes utilizados para a base de dados para a calibração do fator SPF do método HSM e para desenvolvimentos de novos modelos.

Figura 2.3 - Origens de dados utilizados para calibração do SPF do HSM e de novos modelos.



Fonte: Adaptado de Saito, et. al., 2011. p. 63.

Os resultados deste estudo indicam que as relações entre falhas e características das rodovias em Utah são diferentes daqueles apresentados no manual americano. A seleção de um modelo específico para expressar estas relações é dependente de disponibilidade de dados e precisão do modelo, importante calibrar portanto um método em frente as características de cada jurisdição. O fator de calibração do HSM (AASHTO, 2010) encontrado foi de 1,16, sendo que este SPF só deverá ser usado para prever falhas se optar por usar o HSM SPF. Os CMFs dados no manual devem ser utilizados com este modelo.

O estudo permitiu conhecer quais as variáveis são mais e menos significativas dentro das metodologias aplicadas, principalmente as que constam na metodologia HSM. Dentre elas, destacam-se:

- ✓ Comprimento do segmento foi significamente associado com a frequência de colisões;

- ✓ No estudo, foram excluídos muitos locais com declividade acentuada e utilizado apenas segmentos planos. Assim, a rampa longitudinal não foi uma variável significativa;
- ✓ A grande densidade de acessos diretamente a rodovia tem uma correlação positiva com a frequência de acidentes;
- ✓ A ausência de dispositivos sonoros na via tem uma correção negativa com a frequência de acidentes. Isso por que esses dispositivos já são implantados em locais com grande incidência de acidentes, portanto, menos falhas são previstas;
- ✓ O limite de velocidade foi uma variável significativa em todos os modelos;
- ✓ A largura da pista não foi considerada um fator significativo no estudo específico, apesar de no HSM constar que pistas largas resultam em menos falhas.
- ✓ Os segmentos com ultrapassagem permitida obtiveram maiores incidência de ocorrências.

Por fim, os autores ressaltam o desenvolvimento de modelos específicos de acordo com a jurisdição e a classificação das estradas a serem avaliadas, como também avaliar modelos exclusivamente em segmentos curvos. O estudo de segmentos curvos para o estado de Utah foi realizado em 2015.

- Aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM em rodovias de pista simples do Estado de São Paulo.

Na dissertação desenvolvida por Silva (2011) foi avaliado o resultado da aplicação do modelo de previsão de acidentes apresentado na publicação do HSM do ano de 2010, em trechos de rodovias de pista simples de São Paulo. O conjunto de rodovias estudadas é composto por segmentos da SP-255, da SP-318 e da SP-345, ambas administradas pela concessionária Autovias do grupo OHL, atualmente grupo Arteris. Foram caracterizados 79 segmentos das rodovias supracitadas, conforme as diretrizes de divisão dos trechos homogêneos prevista no manual americano, com um média de comprimentos dos trechos de 1,053km. Após, os trechos obtidos foram agrupados em 20 categorias, de acordo com a combinação das características que apresentaram diferentes coeficientes de modificação. Como base de dados, foram utilizados

números de acidentes de trânsito nos anos de 2008, 2009 e 2010, para verificação da distribuição dos acidentes por tipo/severidade, por período do dia e período noturno e outras análises de distribuição de acidentes.

Os resultados obtidos com a aplicação do método original do HSM não representaram adequadamente a realidade da amostra estudada. Foi obtido um valor no método original de 132,57 acidentes enquanto que na realidade, o valor observado foi de 494. Na sequência foi realizada a calibração do método HSM em que foi observado que o número de acidentes previsto e o real foram coincidentes. Uma terceira etapa foi realizar a aplicação do método empírico de Bayes em que foram observados uma breve proximidade nos números de acidentes; o método alcançou 491,35. Apesar do número final de acidentes do método calibrado ser exatamente igual ao observado, a distribuição dos acidentes de acordo com os grupos analisados apresentou uma melhor realidade com o método de Bayes.

Por fim, em suas considerações finais, a autora recomenda o desenvolvimento de estudos específicos para se obter equações de previsão de acidentes para cada região e/ou estado e aumentar a amplitude geográfica de estudo em rodovias no estado de São Paulo, para reproduzir com maior realidade a equação de previsão de acidentes.

- *Assessing International Transferability of Highway Safety Manual Crash Prediction Algorithm and Its Components. // Avaliando a transferibilidade internacional do algoritmo de previsão de acidentes do Manual de Segurança Rodoviário e seus componentes.*

O estudo desenvolvido por Sacchi *et. al.* (2012) objetivou avaliar a transferibilidade de um modelo de previsão de acidentes baseado na metodologia HSM (AASHTO, 2010) para rodovias italianas. Conforme destacam os autores, a metodologia do manual americano foi desenvolvida com as características e padrões das rodovias americanas.

A utilização deste método precisa ser cuidadosamente analisada e calibrada conforme o ambiente e condições locais. No primeiro capítulo, os autores destacam alguns resultados de estudos que apresentaram uma grande variabilidade do fator de calibração, inclusive entre estados americanos do Texas, Louisiana e Oregon, não podendo se adotar um único para a estimativa dos acidentes. O trabalho ainda faz uma comparação com resultados de um estudo semelhante realizado no

Canadá, para complementar as conclusões da possibilidade de transferência do algoritmo do HSM, fora dos EUA.

Para verificar a possibilidade de transferência primeiramente foi aplicado o método original (base) nas rodovias italianas e observado os resultados, comparando-os com os resultados aplicados no Canadá. Posteriormente foi verificado o CMF (fator de modificação), referente as variáveis de infraestrutura. E por último, verificado o algoritmo do HSM como um todo, avaliando o desempenho global deste algoritmo recalibrado com combinações incluindo o desvio médio absoluto (MDA), o valor do parâmetro de dispersão recalibrado e as parcelas cumulativas residuais. As rodovias italianas do estudo são de pista simples e localizadas na província de Turim, no noroeste da Itália e o período de dados de acidentes foi de 2005 a 2008. Foram definidos 242 trechos homogêneos, 193 acidentes com lesões e/ou fatais e após a aplicação do método original HSM, estimado em 438,71 acidentes na totalidade dos segmentos.

Em uma primeira análise, o fator de calibração C_x apresentou uma superestimação de colisões, semelhante ao que ocorreu no estudo desenvolvido no Canadá. Isso pode ser explicado devido o constante valor C_x que fora utilizado em jurisdições com características diferentes, sem aplicar uma calibração apropriada. Além da superestimação, verificou-se para a transferibilidade do CMF, alguma variáveis individuais deveriam ser melhoradas para serem aplicadas na Itália. E por fim, os resultados do desempenho global não foram consistentes aos valores reais observados, sendo que os autores finalizam o trabalho indicando o desenvolvimento de fatores de calibração locais para aplicação e desenvolvimento do método baseado no HSM.

- *Develop calibration factors for crash prediction models for rural two-lane roadways in Illinois // Desenvolvimento de fatores de previsão de acidentes de modelos de previsão de acidentes para rodovias rurais de pista simples em Illinois.*

Neste estudo os autores Williamson & Zhou (2012), desenvolvem dois fatores de calibração (original e calibrado) para duas funções de desempenho de segurança - SPF para rodovias rurais de pista simples no estado de Illinois, nos Estados Unidos. Foram selecionadas 5 rodovias aleatoriamente e o período analisado foi de 2007 a 2009. Os fatores que possuíram o maior efeito sobre o modelo foram o volume de tráfego diário anual - VDMA, quantidade de acessos por milha e largura dos acessos.

Os autores relatam que o VDMA pode ser usado como referência para calibração adicional do método preditivo para outras regiões, porém recomendam o desenvolvimento e comparação de SPF para cada região distinta. Os fatores de calibração obtidos com a função original e calibrada foram 1,40 e 1,58, respectivamente.

Foi realizada uma validação da calibração do método preditivo em dez segmentos de rodovias diferentes dos que foram utilizados na calibração inicial. Os segmentos estão localizados em municípios próximos dos utilizados no processo de calibração e foram usados dados de três anos para a determinação dos valores. Os resultados dessa validação/teste mostraram uma correlação de 53 e 59% entre os acidentes observados e os previstos.

- Transferência de modelos de previsão de acidentes entre cidades brasileiras.

O estudo desenvolvido por Cunto *et. al.* (2013), avaliou a transferibilidade de modelos de previsão de acidentes (MPA) desenvolvidos para Fortaleza (Cunto *et. al.*, 2012) e Belo Horizonte (Costa e Barbosa, 2011), para a cidade de Porto Alegre. No capítulo 2 foi apresentado conceitos e experiências relativa à transferibilidade. Em uma das experiências apresentadas, foi observado o trabalho desenvolvido por Sacchi *et. al.* (2012) na Itália, em que os resultados que para jurisdição italiana, recomendou-se esforços no sentido de desenvolvimento de seus próprios modelos de previsão de acidentes. Esse trabalho foi um dos escolhidos durante o processo de seleção da revisão sistemática e está em destaque no próximo item.

Para verificar a transferibilidade dos modelos, a primeira etapa foi realizar uma análise dos MPA de Fortaleza e Belo Horizonte para a identificação do tipo de entidade a ser considerada e das variáveis adotadas nesses modelos. Esses modelos foram desenvolvidos para interseções de vias arteriais urbanas, de quatro aproximações e utilizaram dados de 2009, sendo que o de Fortaleza e BH avaliaram 101 e 220 interseções, respectivamente. Em uma segunda etapa, foi definido que a amostragem das interseções semaforizadas de Porto Alegre seria de 55 com dados de acidentes de um período de 3 anos; 2008, 2009 e 2010. As 165 observações (55 interseções em três anos diferentes), foram divididas em dois grupos, sendo o primeiro com 83 observações foi destinado à calibração do fator Cx, enquanto que o segundo grupo destinou-se como amostra de validação. Na terceira etapa, foi estimado o valor do fator Cx

para a calibração dos modelos existentes a partir da razão entre o somatório da frequência de acidentes de Porto Alegre e o somatório das frequências estimadas com os MPA das cidade do estudo. Também foi verificado a adequação do parâmetro de dispersão k da distribuição binomial negativa, *escore* z^2 e MAD (desvio médio absoluto). A etapa seguinte destinou-se em validar os modelos calibrados, afim de avaliar o comportamento do modelo calibrado para jurisdição de Porto Alegre em um nova amostra de interseções, com análises dos gráficos de frequência de acidentes previstas com observadas e de resíduos acumulados.

Como resultado final de avaliação da transferibilidade de modelos, o estudo indicou que o modelo calibrado a partir da expressão de Fortaleza obteve um desempenho superior ao de Belo Horizonte. Uma justificativa para isso estaria relacionada ao fato de que os coeficientes de calibração do VDMA e o número de faixa são diferentes quando representados todos os tipos de acidentes. No caso de BH não foram avaliados todos os tipos de acidentes, somente os com vítimas feridas e fatais. As diferenças constatadas entre as três jurisdições já indicam a necessidade de um estudo mais aprofundado e também em relação a validação dos componentes que dependem da melhoria na qualidade dos bancos de dados e na verificação das técnicas utilizando diferentes entidades e tipos de acidentes. Não foi possível com o estudo, testar novas variáveis que poderiam ser mais eficientes na previsão de acidentes, não podendo calibrar o fator C_x com variáveis de acidentabilidade, por exemplo. Em suas considerações finais, os autores ainda indicam o investimento de esforços no desenvolvimento de modelos específicos para cada jurisdição.

- *Crash prediction modeling for curved segments or rural two-lane two-way highways in Utah // Modelos de previsão de acidentes para segmentos em curva ou rodovias rurais de pista simples em Utah.*

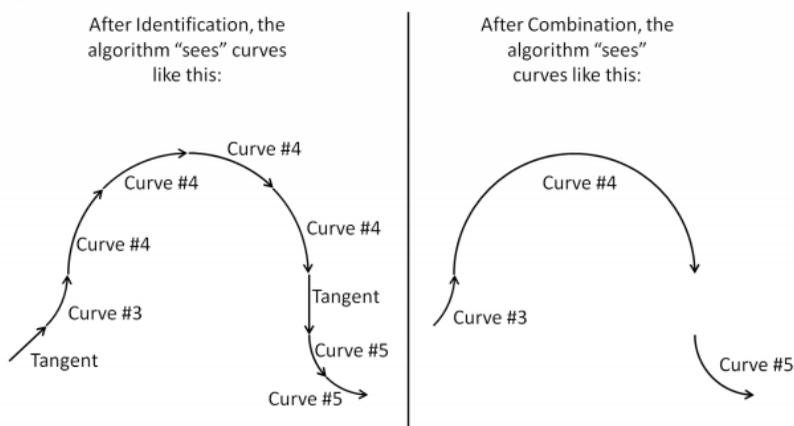
O trabalho desenvolvido por Saito *et. al.* (2015), procurou desenvolver modelos de previsão de acidentes trânsito para segmentos de curva de rodovias rurais de pistas simples no estado de Utah. Em 2012, o país americano contabilizou cerca de 33561 mortes relacionadas a

² O *escore z*, também conhecido como *escore padrão*, representa o número de desvios padrão que separa uma variável aleatória da média. Quando o *escore z* é positivo, indica que o dado está acima da média e quando o mesmo é negativo, indica que o dado está abaixo da média.

acidentes em rodovias, enquanto que no estado de Utah foram cerca de 217. As estradas rurais do estado ainda são 3,3 mais propensas a acidentes com mortes do que em vias urbanas. Cerca de 25% dos acidentes fatais em estradas, ocorrem em curvas horizontais. O principal problema encontrado inicialmente foi a segmentação das curvas que o programa *LiDAR*³ forneceu. Nesse programa, uma curva foi classificada como tendo múltiplos pontos iniciais e finais, criando a aparência de várias curvas de comprimento variável, não refletindo a realidade do local. Foi necessário desenvolver um algoritmo para combinar os dados fornecidos pelo programa, para unificar a segmentação criada, como pode ser observado na Figura 2.4.

Foi calibrado um modelo preditivo baseado no HSM e desenvolvido modelos específicos usando o método de regressão binomial negativa. Foram utilizados 1495 segmentos em curvas escolhidos aleatoriamente e utilizado dois períodos de amostragem: dados sobre acidentes agrupados de 2010 a 2012 e dados agrupados de 2008 a 2012.

Figura 2.4 - Representação da identificação e combinação do algoritmo.



Fonte: Saito, 2015. p. 25.

O fator de calibração encontrado aplicando o modelo preditivo do HSM foi de 1,50 para o período de três anos (2010 a 2012) e de 1,60 para o período de cinco anos.

³ O sistema LIDAR (*Light Detection and Ranging*) é um software que possibilita conhecer informações tridimensionais da superfície terrestre. É considerado um sensor remoto ativo que coleta uma grande quantidade de informações do terreno e dos demais itens no entorno.

As variáveis independentes utilizadas para a modelagem com a regressão binomial negativa foram o limite de velocidade e tráfego de caminhões, além das variáveis utilizadas no modelo preditivo do HSM. As variáveis encontradas que foram mais significativas observadas na aplicação do modelo específico foram: tráfego médio anual diário, comprimento do segmento, porcentagem total de caminhões e raio da curva. O principal benefício encontrado no estudo, em comparação as duas metodologias aplicadas foi que, a modelagem específica fornece um nível razoável de precisão, requerendo apenas quatro variáveis para ser analisada e assim, diminuindo os esforços na coleta de dados. No entanto, como o modelo preditivo do HSM pode exigir até 12 variáveis, é capaz de observar e avaliar os efeitos de mais fatores.

Uma sugestão deixada no estudo é buscar a definição da combinação de segmentos curvos e tangentes no mesmo modelo, usando a curva de raio contínuo por exemplo, que inclui segmentos curvos e tangente, pode ser uma abordagem promissora para incorporar todo o alinhamento horizontal.

- *Prioritizing Highway Safety Manual's crash prediction variables using boosted regression trees* // Priorizando as variáveis de previsão de acidentes do Manual de Segurança Rodoviário usando árvores de regressão reforçada.

No estudo desenvolvido por Saha *et. al.* (2015), foi verificado o impacto que cada variável independente identificada no HSM (2010) possui na modelagem preditiva de acidentes. Foi utilizado um método baseado em árvores de regressão para investigar a associação das variáveis na frequência da ocorrência de acidentes. Os autores expõem que a motivação para o desenvolvimento do estudo foi a falta de dados e falta informações fidedignas nas agências. Desta forma, conhecer e priorizar as variáveis que são mais influentes facilita o desenvolvimento e o alcance dos resultados da modelagem preditiva de acidentes quando utilizado o manual HSM (AASHTO, 2010).

Foram utilizados cinco anos de dados de acidentes de trânsito, de 2008 a 2012, além de informações e características operacionais e geométricas, como o volume de tráfego diário anual, largura de pista e limite de velocidade. Foram estudadas vias arteriais de pistas simples e dupla em segmentos urbanizados e em segmentos rurais/suburbanos. Das variáveis presentes da metodologia HSM para vias de pista simples em trechos urbanos e suburbanos, a que se apresentou mais influente no desenvolvimento de modelos preditivos foi o VDMA, como pode ser

observada na tabela 2.3. Ainda, as três principais variáveis contribuíram em mais de 78% do total de variáveis influentes no modelo e 7 variáveis representam 95% na influência acumulada.

Tabela 2.3 - Influência das variáveis da metodologia HSM para vias arteriais de pista simples, sem divisão de faixas.

Variável	Influência relativa (%)	Influência acumulada (%)
Volume de tráfego diário médio anual (VDMA)	44,62	44,62
Objetos às margens da rodovia	22,1	66,72
Menor densidade de acessos residenciais	11,93	78,65
Menor densidade de acessos comerciais	5,63	84,28
Maior densidade de acessos comerciais	5,07	89,35
Menor densidade de acessos industriais	4,76	94,11
Outras densidades de acessos	1,64	95,75
Maior densidade de acesso industriais	1,15	96,9
Presença de Iluminação	1	97,9
Limite de velocidade	0,89	98,79
Presença de estacionamento na rua	0,86	99,65
Maior densidade de acessos residenciais	0,35	100
Presença de controle de velocidade	0	100

Fonte: *Adaptado de Saha, et. al. , 2015. p.140.*

- Calibração do método de previsão de acidentes do Highway Safety Manual (HSM) para trechos rodoviários de pista dupla no Brasil.

No trabalho desenvolvido por Waihrich (2016), foi aplicado o método preditivo do HSM em rodovias de pista dupla nas regiões de Minas Gerais e Goiás/Distrito Federal, obtendo um fator de calibração para cada região estudada. Em Minas Gerais, foi analisado um segmento da BR 040/MG com 17,85 quilômetros de extensão, dois da BR 050/MG com 30,70 e 51,30 quilômetros de extensão, que totalizaram 77 segmentos homogêneos. Em relação a Goiás/Distrito Federal, os segmentos das rodovias estudadas foram da BR 060/DF com 15,60 quilômetros de extensão, da BR 060/GO com 22,45 quilômetros, da BR 153/GO com 64,70 quilômetros, que totalizaram 66 segmentos homogêneos. Os valores de volume de tráfego foram referente ao período de 2011 a 2013, com exceção aos segmentos da BR 050/MG que utilizou dados de 2013.

Conforme destacado por Waihrich (2016), devido às características geográficas do Distrito Federal, foi vinculada essa jurisdição ao estado de Goiás durante a aplicação do método de previsão.

Desta forma, a aplicação foi realizada em duas diferentes regiões, MG e GO/DF.

Sinteticamente, foram delimitados três cenários para avaliação da aplicação da calibração do método, sendo que no cenário 1, é realizado o teste se o método se aplica às condições das rodovias de pista dupla, sendo no cenário 2 e 3 verificados de forma exploratória, a necessidade do HSM em considerar fatores de ajuste para dispositivos de retornos e faixas adicionais dos segmentos viários. Ainda sobre o cenário 1, com uma amostra padrão, foi realizada a análise da transferência da *SPF - Safety Performance Function* do HSM nas rodovias. Nessa análise, foram retirados os segmentos homogêneos que possuíam retornos, faixas adicionais e dois trechos por estarem em área com grande ocupação às margens da pista, que resultaram em uma amostra de 43 segmentos em MG e 36 em GO/DF.

No cenário 2, foram comparadas a amostra padrão com a amostra total, sendo realizada a calibração e utilização do modelo considerando uma amostra total (com a inclusão de todos os segmentos inicialmente identificados, com exceção de um segmento com retorno e faixa adicional concomitante e os dois trechos em segmentos muito urbanizados).

No cenário 3 é feita uma análise da calibração de duas amostras alternativas: uma com retornos e outra com as faixas adicionais.

Como resultado final, no primeiro cenário observado, os resultados dos fatores de calibração para MG e GO/DF foram 2,37 e 1,58, respectivamente. Sem realizar a calibração do modelo, chegou-se a um valor de 313,52 acidentes para MG, enquanto que o registrado foi de 743, e um valor de 406,90 acidentes para GO/DF, enquanto que o existente foi de 644. Realizando a calibração e o refinamento pelo método empírico de Bayes, os resultados para MG e GO/DF foram de 745,32 e 644,89 acidentes, respectivamente. Foram aplicados ajustes de qualidade, para verificar o comportamento do modelo calibrado aos dados reais. Na região de MG, os resultados obtidos se apresentaram satisfatórios enquanto que GO/DF, insatisfatórios. Não foi possível através dos resultados dos estudos, confirmar que o modelo preditivo do HSM calibrado permite prever o número de acidentes em rodovias de pista dupla no Brasil.

Referente aos resultados finais do cenário 2 e 3, foi observado que os retornos e faixas adicionais têm um efeito que deve ser considerado na aplicação do modelo. Deve-se desenvolver fatores de modificação de acidentes específicos para esses dispositivos.

- *Sample-size guidelines for recalibrating crash prediction models: Recommendations for the Highway Safety Manual // Diretrizes de tamanho de amostra para recalibrar modelos de previsão de acidentes: recomendações do Manual de Segurança Rodoviária.*

No estudo desenvolvido por Shirazi *et. al.* (2016) foi analisado o tamanho da amostra dos segmentos e dos acidentes indicados no HSM (AASHTO, 2010) para a calibração dos modelos preditivos. O manual americano recomenda uma amostra de 30 a 50 segmentos homogêneos com um total de 100 acidentes por ano. Os autores reforçam através do trabalho de Alluri *et. al.* (2016)⁴, que as recomendações que são indicadas precisam ser revistas, devido ao fato de que, diferentes tipos de rodovias têm diferentes tipos de homogeneidade e que o tamanho mínimo da amostra é uma função da homogeneidade da população.

Foram realizadas simulações com diferentes cenários para verificar qual seria o tamanho da amostra necessária, com base nas características dos dados, que poderia estar sendo utilizada na calibração de um modelo. O protocolo utilizado para a simulação é separado em três etapas, que seguem descritas abaixo:

- ✓ Etapa 1 = Passo 1: Definição do cenário, especificando a média desejada para o número previsto de acidentes, um fator de calibração e um parâmetro de dispersão de dados e do tamanho do conjunto de dados da simulação. Passo 2: Utilizar o volume de tráfego médio diário anual variável para cada trecho, a partir de uma distribuição logarítmica normal;
- ✓ Etapa 2 = Passo 1: No modelo preditivo, utilizar apenas as variáveis que consideram o fluxo, modificando a inclusão dos dados de forma que a média do número de acidentes é comparado com o cenário analisado. Passo 2: Verificar a média de previsão de acidentes em cada local utilizando a forma modificada realizada anteriormente com o número de acidentes para cada trecho a partir de um binômio negativo e do parâmetro e dispersão definido na primeira etapa. Passo 3: Encontrar o fator de calibração para o conjunto de dados simulado.

⁴ No trabalho de Alluri *et. al.* (2016) foram utilizados dados coletados no estado americano da Flórida para determinar o tamanho mínimo da amostra que resulta em um fator de calibração de confiança para os tipos de rodovias descritas no manual americano.

- ✓ Etapa 3 = Para cada uma das interações, selecionar aleatoriamente os locais para cada amostra e calcular o seu fator de calibração.

A qualidade dos dados de cada amostra foi aferido através dos seguintes passos:

- ✓ Cálculo da média e do desvio padrão dos fatores de calibração. Essa análise permite aferir o tamanho da amostra, pois, se a mesma é muito pequena, os fatores de calibração gerados podem ser muito diferentes do verdadeiro fator observado (dados reais);
- ✓ Cálculo estatístico dos fatores de calibração das possíveis interações das simulações seguidos da distribuição normal da amostra selecionada;
- ✓ Verificação se o fator de calibração se encontra dentro de 10% do fator de calibração verdadeiro (observado).

Para cada cenário, foi simulado um conjunto de dados com 5.000 locais e em seguida, para cada dado do tamanho da amostra, 1.000 fatores foram gerados aleatoriamente com base no protocolo de simulação.

Os resultados da simulação reforçaram a idéia/observação de que quando maior o tamanho da amostra, maior é a garantia do cumprimento dos níveis de precisão de um projeto e maior é a confiabilidade dos dados. Outra confirmação é que o tamanho da amostra pode ser diferente, devido as características do tipo de rodovia.

Com essa observação confirmada, orientações de tamanho da amostra foram elaboradas com base no coeficiente de variação do acidente, que é a razão entre o desvio padrão e a média. Foram verificados para dois tipos de vias: as interseções e as rodovias de 2 ou mais faixas por sentido. No caso de interseções, os resultados da simulação foram aplicados em cruzamentos sinalizados em Toronto, no Canadá. Para este caso, os resultados mostraram que o tamanho da amostra de 100, 75 e 50 locais, podem atingir o nível de confiança de 91%, 85% e 74%, respectivamente.

No caso das rodovias de pista dupla, os resultados da simulação foram bem conservadores por cumprirem altos níveis de precisão. Foram selecionadas rodovias de pista dupla com 2 faixas por sentido, localizadas no estado do Texas, nos Estados Unidos. Para este caso, os resultados mostraram com um tamanho da amostra de 1.400, 1.000 e 550 locais, podem atingir um nível de confiança de 96%, 88% e 76%, respectivamente.

3 MÉTODO DE PESQUISA

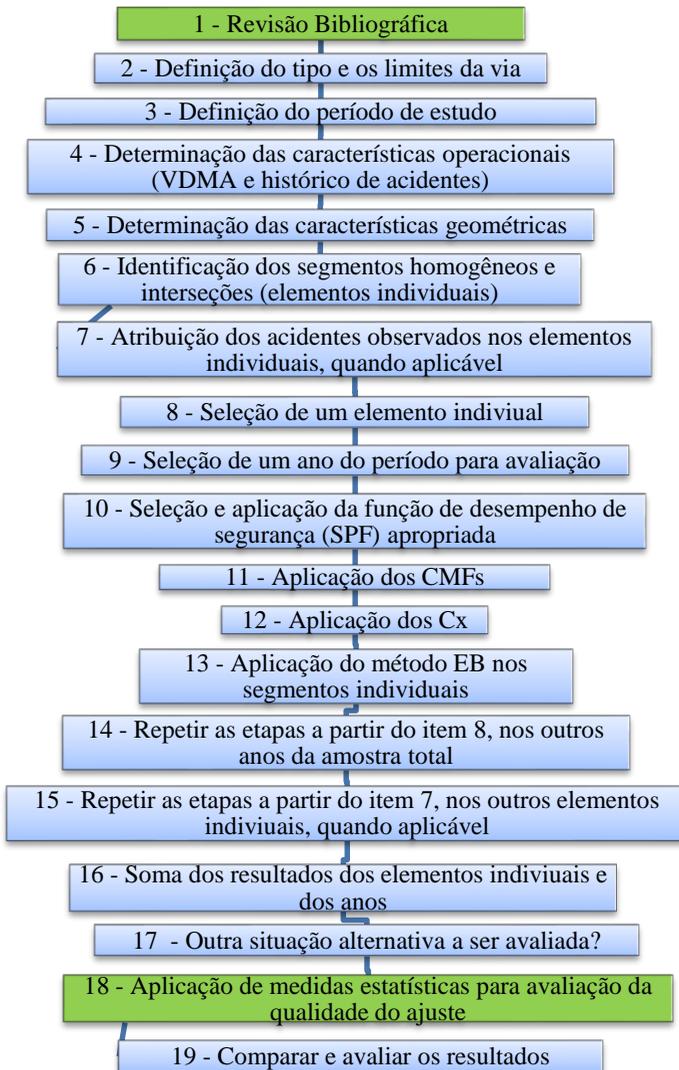
3.1 MÉTODO PREDITIVO DO HSM PARA RODOVIAS DE PISTA SIMPLES

As rodovias de pista simples são aquelas caracterizadas por duas faixas de tráfego sendo operadas em sentidos opostos e podem possuir eventuais faixas adicionais.

Conforme expõe Silva (2011), diferente da *Highway Capacity Manual* – HCM em que rodovias podem ser classificadas quanto à velocidade e percepção do motorista, no HSM (AASHTO, 2010), o foco é nas características da via, exposição do tráfego e na interação entre motoristas. Assim, são classificadas segundo o nível de urbanização, como rurais ou urbanas.

No fluxograma da Figura 3.1, pode ser observada a sequência das etapas de aplicação e desenvolvimento do modelo preditivo do HSM para rodovias de pista simples. As etapas destacadas em azul compõem a metodologia sintetizada do HSM para transferência e desenvolvimento de modelos enquanto que as etapas destacadas em verde foram incluídas para complementar o desenvolvimento do modelo. No item 1 da metodologia, já será abordado o tratamento que foi realizado para o desenvolvimento desta etapa.

Figura 3.1 - Etapas de aplicação e desenvolvimento do modelo preditivo



Fonte: *Adaptado* de AASHTO, 2010.

O detalhamento das etapas para a aplicação do método proposto no HSM pode ser observado a partir do item 3.2.

3.2 ETAPA 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta etapa é realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o tema do projeto, a fim de se encontrar estudos publicados disponíveis que abordaram o tema, observar os resultados alcançados e também introduzir conceitos e descrever a metodologia preditiva americana do HSM. Os estudos publicados servem como suporte para o desenvolvimento do projeto.

Foram realizadas dois tipos de revisão bibliográficas no estudo, uma narrativa e uma sistemática. Na revisão bibliográfica narrativa, encontram-se alguns conceitos de segurança viária e a descrição da metodologia do *Highway Safety Manual* - HSM. Foi realizado ainda uma breve pesquisa exploratória de outros modelos de previsão de acidentes de trânsito, com conceitos e principais vantagens e desvantagens de cada modelo.

O protocolo do desenvolvimento da revisão sistemática pode ser observada capítulo 2.2.

3.3 ETAPA 2 E 3 – DEFINIÇÃO DO TIPO, LIMITES DA VIA E DO PERÍODO DE ESTUDO

Para a definição dos segmentos homogêneos e/ou elementos individuais da amostra que compõe o modelo preditivo é necessário definir o tipo, limite das e do período de estudo. Quanto ao tipo de via, podem ser desenvolvidos modelos conforme os seguintes grupos:

- a) *Rural two-lane – two ways roads*: rodovias de pista simples;
- b) *Rural four-lane (and undivided highways) or multilanes*: pista dupla, com duas ou mais faixas por sentido;
- c) *Urban and Suburban Arterials*: vias arteriais urbanas e suburbanas incluindo vias com três faixas sendo a central para a conversão a esquerda

Em cada grupo existem equações e calibrações específicas de funções de desempenho de segurança. A definição do limite da via também é importante para delimitar o início e fim da rodovia, por exemplo, que será escolhida para compor a amostra. Quanto ao período de estudo, o manual recomenda que sejam trabalhos com amostras que possuem de 3 a 5 anos de dados, no mínimo. (AASHTO, 2010).

3.4 ETAPA 4 E 5 – DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS E GEOMÉTRICAS

Nesta etapa são levantados dados que servem como subsídios para o desenvolvimento do modelo preditivo. Referente aos dados operacionais é necessário obter os valores de volume de tráfego médio anual e um dado complementar, conhecer a distribuição de tráfego em cada categoria de veículos.

Quanto às características geométricas é necessário obter os dados de seção transversal para a coleta de informação de largura de faixa, de acostamento e inclinação de pista. Dados de perfil longitudinal de um segmento também permitem conhecer a inclinação da rampa da pista.

3.5 ETAPA 6 - IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS E INTERSEÇÕES

Nesta etapa são identificados os segmentos homogêneos das rodovias, em função de suas características físicas e operacionais. Neste projeto não serão desenvolvidos modelos para interseções ou que as incluem.

O trecho não deverá ser inferior a 200m e deve compor no mínimo de 30 a 50 trechos de um mesmo tipo de via para a calibração, conforme descreve o manual. Não serão selecionados apenas trechos com elevado número de acidentes conforme também ressalta o manual.

Quando a rodovia é uniforme, a divisão de trechos homogêneos é dada entre interseções. Caso contrário, existem outras diretrizes que o manual adota para a divisão de trechos homogêneos (AASHTO, 2014);

- Início ou fim de curva horizontal, sendo que transições espirais são consideradas parte da curva;
- Ponto de interseção vertical (PVI);
- Início ou fim de faixas adicionais ou curtos segmentos de pista dupla sem divisão central física destinada ao aumento de oportunidade de passagem (faixa adicional para ultrapassagem).

Além dos itens supracitados, um novo trecho deve ser inserido quando ao menos uma das características físicas ou operacionais abaixo apresentar variação (AASHTO, 2014):

- Volume diário médio anual (VDMA);
- Largura da faixa (LW): é recomendado seguir os arredondamentos apresentados na tabela 3.1, sendo importante ressaltar que a precisão de determinação da largura de faixa pode ser de aproximadamente de centímetros.

Tabela 3.1 - Arredondamento considerado para segmentação de trechos homogêneos referente a largura das faixas

LW - Largura da faixa medida (m)	Arredondamento (m)
$LW \leq 2,8$	$\geq 2,8$
$2,8 < LW < 3,0$	2,9
$3,0 \leq LW \leq 3,1$	3
$3,1 < LW \leq 3,3$	3,2
$3,3 < LW \leq 3,4$	3,4
$3,4 < LW < 3,6$	3,5
$LW \geq 3,6$	3,6

Fonte: *Adaptado* de AASHTO, 2010.

- Largura do acostamento (SW): é recomendado seguir os arredondamentos apresentados na Tabela 3.2. Semelhante ao item de largura de faixa, a precisão de determinação da largura do acostamento pode ser de aproximadamente dez centímetros.

Tabela 3.2 - Arredondamento considerado para a segmentação de trechos homogêneos referente a largura dos acostamentos pavimentados

SW - Largura do acostamento medida (m)	Arredondamento (m)
$SW \leq 0,2$	0
$0,2 < SW < 0,5$	0,3
$0,5 \leq SW \leq 0,8$	0,6
$0,8 \leq SW \leq 1,1$	0,9
$1,1 < SW \leq 1,4$	1,2
$1,4 < SW \leq 1,7$	1,5
$1,7 < SW < 2,0$	1,8
$2,0 < SW < 2,3$	2,1
$SW \geq 2,3$	2,4

Fonte: *Adaptado* de AASHTO, 2010.

- Tipo de revestimento do acostamento;
- Densidade de acessos (acessos/km): como a densidade de acessos é inversamente proporcional ao comprimento do segmento, o uso de trechos muito curtos (menores que 0,800 km) resulta em um número de acessos superior ao real;
- Índice de obstáculos laterais (à direita do sentido do tráfego): é medido em uma escala que varia de 1 a 7, sendo um valor subjetivo adotado a partir da opinião do analista. Por ser um valor subjetivo, admite-se que pode haver variação de até dois níveis da escala no segmento analisado;
- Presença/ausência de guias sonoras centrais;

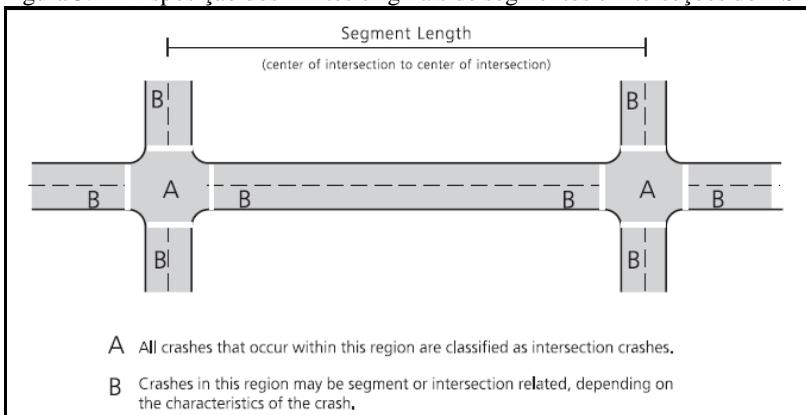
- Presença/ausência de iluminação na rodovia;
- Presença/ausência de fiscalização eletrônica.

Para a aplicação do método empírico de Bayes, os acidentes observados e a frequência existente serão atribuídos nos mesmos segmentos trabalhados durante a calibração realizada no modelo.

Para alocar os acidentes em segmentos de rodovias ou em interseções utilizou-se a seguinte metodologia para localização dos acidentes:

- Os acidentes ocorridos nos limites da interseção, ou seja, na região A da Figura 3.2 são atribuídos à interseção;
- Acidentes ocorridos fora dos limites da interseção, ou seja, na região B da Figura 3.2, são atribuídos ao segmento de rodovia.

Figura 3.2 - Disposição dos limites originais de segmentos e interseções do HSM



Fonte: AASHTO, 2010. p. 386.

Devem ser selecionados segmentos e acessos laterais (que não interrompam de forma significativa a fluidez do tráfego) para o estudo. Caso a rodovia apresente muitos segmentos em trechos urbanizados, em que a entrada e saída dos veículos não é controlada e a densidade de movimentos é muito elevada, será avaliado de forma no decorrer do trabalho a incorporação e o tratamento desses segmentos.

3.6 ETAPA 7, 8 E 9 – ATRIBUIÇÃO DOS ACIDENTES OBSERVADOS NOS ELEMENTOS INDIVIDUAIS / SELEÇÃO DE UM ELEMENTO INDIVIDUAL / SELEÇÃO DE UM ANO DO PERÍODO DE AVALIAÇÃO

A etapa 7 refere-se a alocação dos acidentes ao longo da rodovia, sendo importante para a divisão dos acidentes ocorridos em segmentos.

Após a alocação dos acidentes, na etapa 8 deve-se optar pela seleção de um elemento individual para iniciar o desenvolvimento do modelo, neste caso, fazendo uma escolha entre segmento ou interseção. Para este projeto, será desenvolvido o modelo apenas para o elemento individual *do tipo* segmento.

Por sua vez, na etapa 9, as avaliações das ocorrências previstas de acidentes são realizadas em cada ano do período anteriormente definido no projeto.

3.7 ETAPA 10 – SELEÇÃO E APLICAÇÃO DA FUNÇÃO DE DESEMPENHO DE SEGURANÇA (SPF)

As características geométricas, físicas e operacionais preestabelecidas no modelo são utilizadas como referência e são determinadas através de expressões denominadas *Safety Performance Functions* - SPFs.

Conforme destaca Silva (2011), as SPFs estimam o valor de uma variável dependente como função de um conjunto de variáveis independentes. A variável dependente no HSM é a frequência de acidentes para o elemento individual da rodovia com as condições ideais enquanto que as variáveis independentes são o VDMA e a extensão do elemento.

A função de desempenho para a condição considerada como base em rodovias de pista simples do HSM (AASHTO, 2014), sendo válida para valores de VDMA entre 0 e 17800 veículos/dia, é a seguinte:

$$N_{SPF\ rs} = VDMA \times \frac{L}{1,609} \times 365 \times 10^{\alpha} \times e^{\beta} \quad (4)$$

Sendo:

$N_{SPF,rs}$ número previsto de acidentes para condições base em um segmento de rodovia;

VDMA: volume de tráfego diário médio anual (veículos/dia);

L: comprimento do segmento em km;

α : parâmetro de calibração da SPF original, sendo o valor adotado como -6;

β : parâmetro de calibração da SPF original, sendo o valor adotado como -0,312.

O parâmetro de superdispersão associado ao N_{SPF} é determinado em função da extensão do trecho homogêneo, conforme a equação 5.

$$k = \frac{0,236 \times 1,609}{L} \quad (5)$$

Sendo que:

L: extensão do segmento homogêneo de rodovia em km.

A Tabela 3.3 apresenta os valores bases presente no manual do HSM das frequências dos tipos de acidentes divididos por nível de severidade enquanto que na tabela 3.4 são apresentadas a distribuição percentual de acidentes por tipo e severidade.

Tabela 3.3 - Distribuição percentual por severidade da frequência de acidentes em rodovias de pista simples

Severidade dos Acidentes	Percentual do total de acidentes em segmentos de rodovias
Fatal	1,30%
Vítimas com ferimentos graves	5,40%
Vítimas com ferimentos moderados	10,90%
Vítimas com ferimentos leves	14,50%
Danos materiais sem vítimas	67,90%
Total	100,00%

Fonte: *Adaptado* de AASHTO, 2010.

Tabela 3.4 - Distribuição percentual de acidentes por tipo e severidade

Tipo de acidente	Grau de Severidade		
	Acidentes com vítimas	Danos materiais	Total
Acidente envolvendo apenas um veículo			
Atropelamento de animais	4%	18%	12%
Atropelamento de ciclistas	0%	0%	0%
Atropelamento de pedestre	1%	0%	0%
Capotamento	4%	2%	3%
Saída de pista	54%	51%	52%
Outros	1%	3%	2%
Total (apenas um veículo)	64%	74%	69%
Acidente envolvendo mais de um veículo			
Colisão transversal	10%	7%	9%
Colisão frontal	3%	0%	2%
Colisão traseira	16%	12%	14%
Colisão lateral	4%	4%	4%
Outros	3%	3%	3%
Total (mais de um veículo)	36%	27%	31%
Total de acidentes	100%	100%	100%

Fonte: *Adaptado* de AASHTO, 2010.

Os valores apresentados na Tabela 3.4, representam a realidade do local onde o modelo foi desenvolvido, neste caso, determinado para o período de 2002 a 2006 em rodovias de pista simples de Washington.

3.8 ETAPA 11 – APLICAÇÃO DOS CMFs

Devido às diferenças entre os segmentos reais estudados e a condição ideal (padrão), são necessários calcular primeiramente os fatores multiplicadores de modificação, conhecidos como *Crash Modification* - CMFs. Em algumas condições avaliadas o segmento pode não diferir das condições base, sendo utilizado para esses casos o fator de multiplicação igual a 1,0. A seguir estão os dozes fatores de modificação de acidentes que constam no manual e que serão calculados:

- Largura de faixa de rolamento

Para o cálculo do efeito da largura da faixa em relação ao número total de acidentes no segmento analisado, foi desenvolvida a seguinte equação (AASHTO, 2014):

$$CMF_{1r} = (CMF_{ra} - 1,0) \times p_{ra} + 1,0 \quad (6)$$

Sendo que:

CMF_{1r} : Fator de modificação da influência da faixa de rolamento no total de acidentes;

CMF_{ra} : Fator de modificação da influência da faixa de rolamento nos acidentes relacionados à largura da faixa. Neste caso, os acidentes analisados são os do tipo saída de pista, colisão frontal e colisão lateral).

p_{ra} : razão dos acidentes relacionados (saída de pista, colisão frontal e colisão lateral) pelo número de acidentes total do segmento.

O valor de CMF_{ra} é encontrado em função da largura da faixa de rolamento e do volume de tráfego, como pode ser observado na Tabela 3.5

Tabela 3.5 - CMF_{ra} Influência da largura da faixa de rolamento em segmentos de rodovia de pista simples

Largura da Faixa de rolamento (m)	< 400	VDMA (veículos/dia)	> 2000
		400 até 2000	
≤ 2,7	1,05	$1,05 + 2,81 \times 10^{-4}$ (VDMA - 400)	1,50
3	1,02	$1,02 + 1,75 \times 10^{-4}$ (VDMA - 400)	1,30
3,3	1,01	$1,01 + 2,5 \times 10^{-5}$ (VDMA - 400)	1,05
≥ 3,6	1,00	1,00	1,00

Fonte: *Adaptado* de AASHTO, 2010.

Na calibração original do modelo estimado pela AASHTO (2014), o valor *default* de p_{ra} é igual a 0,574. Portanto, no caso da falta de dados de classificação de acidentes, pode-se utilizar este valor na calibração regional de dados.

Outra condição considerada como base é a largura da faixa igual a 3,6m, caso em que o CMF_{1r} é igual a 1,0. Tal condição avaliada bem como o desenvolvimento da equação deste fator de calibração foi desenvolvido por Griffin e Mak (1987), Deen e Mayes (1981) e está presente no manual da HSM.

Caso as larguras das faixas por sentido da rodovia forem de larguras diferentes, é recomendado calcular um fator de modificação por faixa e para o cálculo da função de desempenho SPF, deve-se utilizar a média dos CMFs calculados nos dois sentidos.

- Largura e tipo de revestimento do acostamento;

O fator de modificação do efeito da largura e do tipo de revestimento do acostamento no montante de acidentes pode ser estimado através da seguinte equação:

$$CMF_{2r} = (CMF_{wra} \times CMF_{tra} - 1,0) \times p_{ra} + 1,0 \quad (7)$$

Sendo que:

CMF_{2r} : Fator de modificação da influência da largura e do tipo de revestimento do acostamento no total de acidentes;

CMF_{wra} : Fator de modificação da influência da largura do acostamento nos acidentes relacionados. Neste caso, os acidentes analisados são os do tipo saída de pista, colisão frontal e colisão lateral).

CMF_{tra} : Fator de modificação do efeito do tipo de revestimento do acostamento nos acidentes relacionados. Neste caso, os acidentes analisados são os do tipo saída de pista, colisão frontal e colisão lateral).
 p_{ra} : razão dos acidentes relacionados (saída de pista, colisão frontal e colisão lateral) pelo número de acidentes total do segmento. No manual do HSM, o p_{ra} tem valor *default* estimando pela AASHTO (2014) igual a 0,574.

Para o cálculo do fator de modificação CMF_{wra} e CMF_{tra} , são apresentados nas Tabelas 3.6 e 3.7 os valores dos fatores devido a influência da largura do acostamento para intervalos de volume de tráfego e tipo de revestimento.

Tabela 3.6 - CMF_{wra} Influência da largura do acostamento em segmentos de rodovias de pista simples

Largura do acostamento (m)	< 400	VDMA (veículos/dia)	
		400 até 2000	> 2000
≤ 0,0	1,10	$1,10 + 2,500 \times 10^{-4}$ (VDMA - 400)	1,50
0,60	1,07	$1,07 + 1,43 \times 10^{-4}$ (VDMA - 400)	1,30
1,20	1,02	$1,02 + 8,125 \times 10^{-5}$ (VDMA - 400)	1,15
1,80	1,00	1,00	1,00
> 2,4	0,98	$0,98 - 6,875 \times 10^{-5}$ (VDMA - 400)	0,87

Fonte: *Adaptado de AASHTO, 2010.*

Tabela 3.7 - CMF_{tra} Influência do tipo de revestimento do acostamento em segmentos de rodovias de pista simples

Tipo de revestimento	Largura do acostamento (m)						
	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20	1,80	2,40
Pavimento	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Cascalho	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02
Composto*	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,06
Grama	1,00	1,01	1,04	1,05	1,08	1,08	1,11

* Resultado da combinação de 50% de pavimento e 50% grama

Fonte: *Adaptado de AASHTO, 2010.*

A condição considerada como base é a largura do acostamento igual a 1,8m e acostamento pavimentado, caso em que o CMF_{2r} é igual a 1,0. Tal condição avaliada bem como o desenvolvimento da equação deste fator de calibração foi desenvolvido por Zeeger, Deen e Mayes (1981) e está presente no manual da HSM.

- Curvas horizontais: comprimento, raio e presença ou ausência de transição espiral.

Para a determinação do efeito das curvas horizontais no montante de acidentes, utiliza-se a seguinte equação:

$$CMF_{3r} = \frac{(0,93 \times L_c) + \left(\frac{24,5}{R}\right) - (0,012 \times 5)}{(0,93 \times L_c)} \quad (8)$$

Sendo que:

CMF_{3r} : Fator de modificação da influência do alinhamento horizontal no total de acidentes;

L_c : Comprimento da curva em km;

R : raio da curva em metros;

S : 0 caso não existe transição espiral, 0,5 caso haja transição espiral em apenas um lado da curva e 1 caso exista a transição espiral.

Conforme é recomendado pela AAHSTO (2014), caso o R seja inferior a 30m deve-se adotar o valor igual a 30. No caso da extensão da curva L_c for inferior a 30m, também deve-se adotar o valor de 30m. Valores de CMF_{3r} menores que 1,00 não devem ser considerados.

- Curvas horizontais: superelevação;

A função para o CMF_{4r} foi desenvolvida por Zegeer et. Al (1992) e consta no manual HSM (AASHTO, 2014):

$$CMF_{4r} = 1,00 \text{ para } SV < 0,01 \quad (9)$$

$$CMF_{4r} = 1,00 + 6 \times (SV - 0,01) \text{ para } 0,01 \leq SV < 0,02 \quad (10)$$

$$CMF_{4r} = 1,06 + 3 \times (SV - 0,02) \text{ para } SV \geq 0,02 \quad (11)$$

Sendo que:

CMF_{4r} : fator de modificação da influência da variação da superelevação no total de acidentes;

SV : diferença da superelevação encontrada (m/m) em relação às recomendadas pela AASHTO.

Este fator de modificação resulta da diferença entre a superelevação da curva horizontal e a recomendada pela AASHTO. Assim, para condição base de superelevação para calibração do modelo, quanto a diferença é mínima ou igual a zero, o valor de CMF é igual a 1.

- Greides;

Para este fator de modificação é avaliada a curvatura vertical com base nos greides, conforme os valores indicados na tabela 3.8 desenvolvida por Miaou (1998).

Tabela 3.8 - CMF3r Influência do greide no número de acidentes

Greide aproximado (%)		
Relevo plano ($\leq 3\%$)	Greide moderado ($3\% < \text{greides} \leq 6\%$)	Greide acentuado ($> 6\%$)
1	1,1	1,16

Fonte: *Adaptado* de AASHTO, 2010.

A condição base para este fator é um greide $\leq 3\%$.

- Densidade de acessos;

O fator de modificação da densidade de acessos é obtido pela seguinte equação (AASHTO):

$$CMF_{6r} = \frac{0,322 + (DD \times 1,609) \times [0,05 - 0,005 \times \ln(VDMA)]}{0,322 + 5 \times [0,05 - 0,005 \times \ln(VDMA)]} \quad (12)$$

Sendo que:

CMF_{6r}: fator de modificação da influência da densidade de acessos no número de acidentes;

DD: densidade de acessos em acessos/km;

VDMA: volume de tráfego diário médio anual em veículo/dia;

O manual recomenda que todos os acessos de incorporação ou desincorporação em ambos os sentidos da rodovia devem ser considerados exceto os que possuem um frequência de utilização igual ou inferior a um vez ao dia.

A condição base para este fator de modificação é de oito acessos/km (AASHTO, 2014).

- Guias sonoras centrais – CMF_{7r};

No caso de presença de guias sonoras no segmento em estudo, o valor do fator de modificação é de 0,94. A condição base neste fator é a ausência de guias sonoras centrais, sendo adotado para este caso, o valor de 1,00.

- Faixas adicionais - CMF_{8r} ;

No caso de presença de faixa adicional em um sentido da rodovia, deve-se adotar o fator de modificação de 0,75. No caso de duas faixas adicionais no segmento analisado, adota-se o valor igual a 0,65. (AASHTO, 2014).

A condição base presente no manual HSM é a ausência de faixas adicionais, devendo ser adotado para este caso, o valor do CMF igual a 1,00.

- Faixa de acomodação central para conversão a esquerda – CMF_{9r}

A condição base deste fator é a ausência de faixa de acomodação central, devendo-se assim adotar um valor igual a 1,00. Caso a condição do segmento homogêneo esteja diferente da condição-base, o fator de modificação de acidente é calculado através da seguinte equação:

$$CMF_{9r} = 1,0 - \left(0,7 \times p_{dwy} \times p_{\frac{LT}{D}} \right) \quad (13)$$

Sendo que:

CMF_{9r} : fator de modificação do efeito de uma faixa de acomodação central no número total de acidentes;

p_{dwy} : percentual dos acidentes relacionados aos acessos existentes no segmento;

$p_{\frac{LT}{D}}$: percentual de acidentes suscetíveis a correção/inclusão de uma faixa de acomodação central para conversão à esquerda.

O valor de $p_{\frac{LT}{D}}$ pode ser estimado pela equação:

$$p_{dwy} = \frac{(0,0047 \times DD) + (0,0024 \times DD^2)}{1,199 + (0,0047 \times DD) + (0,0024 \times DD^2)} \quad (14)$$

Sendo que:

DD: densidade de acessos em acessos/km. No caso da ausência da densidade de acessos, pode-se adotar o valor de 0,50.

- Lateral da via – CMF_{10r} ;

O valor do fator de modificação devido a influência das margens da rodovia é calculado a partir da seguinte equação.

$$CMF_{10r} = \frac{e^{(-0,6869+0,0668 \times RHR)}}{e^{(-0,4865)}} \quad (15)$$

Sendo que:

CMF_{10r} : fator de modificação devido a influência da lateral da via;

RHR: índice de obstáculos laterais medido em uma escala de 1 a 7.

Para a obtenção do valor RHR é utilizado uma escala com índices de obstáculos que variam de 1 a 7, sendo que o 1 representa a melhor situação do ponto de vista de segurança. A tabela 3.9 apresenta os sete índices com suas respectivas descrições.

Tabela 3.9 - Descrição dos sete índices de obstáculos laterais

Índice	Largura da zona livre	Inclinação do talude	Lateral da via
1	$\geq 10m$	$<1V: 4H^1$	-
2	Entre 6 e 7,5m	$\sim 1V: 4H^1$	-
3	$\sim 3m$	Entre 1V: 3H e 1V: 4H ²	Relevo acidentado
4	Entre 1,5 e 3m	Entre 1V: 3H e 1V: 4H ³	Pode haver defesa (distância entre 1,5 e 2m)
5		$\sim 1V: 3H^4$	Pode haver defesa (distância entre 0 e 1,5m) ou obstáculos rígidos (distância entre 2 e 3m)
6	$\leq 1,5m$	$\sim 1V: 2H^4$	Sem defesa; exposição a obstáculos ficos (distância entre 0 e 2m)
7		$\geq 1V > 2H^5$	Sem defesa; penhasco ou corte vertical em rocha

¹Motorista consegue recuperar a direção;

²É possível que o motorista recupere a direção;

³É possível que o motorista recupere a direção, entretanto existe maiores chances de acidentes;

⁴Difícilmente o motorista consegue recuperar a direção;

⁵O condutor não recupera a direção e pode sofrer acidente grave.

Fonte: *Adaptado* de AASHTO, 2010.

A condição base com o valor de fator igual a 1,00 é obtida através de um índice de obstáculos igual a 3.

- Iluminação – CMF_{11r} ;

A equação para a determinação do valor do fator de modificação do efeito da iluminação no total de acidentes observados é dada por:

$$CMF_{11r} = 1,0[(1,0 - 0,72 \times p_{inr} - 0,83 \times p_{pnr}) \times p_{nr}] \quad (16)$$

Sendo que:

CMF_{11r} : fator de modificação da influência da iluminação no total de acidentes;

p_{inr} : proporção do total de acidentes noturnos em segmentos não iluminados de acidentes com danos apenas materiais;

p_{nr} : proporção do total de acidentes em segmentos não iluminados que ocorrem a noite;

p_{nr} : proporção do total de acidentes em segmentos não iluminados que ocorrem no período noturno.

No caso de não se dispor das proporções de acidentes em trechos iluminados, o manual HSM oferece valores *default* que podem ser utilizados para o cálculo do CMF_{11r} . Esses valores estão apresentados na tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Proporção de acidentes noturno em segmentos não iluminados

Acidentes noturnos em segmentos não iluminados	Proporção
Fatais e com vítimas (p_{inr})	0,382
Apenas danos materiais (p_{pnr})	0,618
Acidentes em relação ao valor total (p_{nr})	0,37

Fonte: *Adaptado* de AASHTO, 2010.

A condição base para o fator de modificação de iluminação é a sua ausência no segmento da rodovia analisado, neste caso, com valor de CMF_{11r} igual a 1,0.

- Fiscalização eletrônica – CMF_{12r} :

Quando houver a presença de fiscalização eletrônica no segmento em estudo o valor do fator a ser utilizado é igual a 0,93 enquanto que na condição base, é igual a 1,00.

Posteriormente ao desenvolvimento desses fatores, o fator de calibração da SPF é determinado através da expressão de C_x .

3.9 ETAPA 12 - APLICAÇÃO DO FATOR DE CALIBRAÇÃO C_x

Para a determinação do fator de calibração regional para um determinado elemento individual é necessária a aplicação do modelo preditivo original (padrão) em cada elemento, para obtenção primária do número previsto de acidentes.

Após, é utilizada a função original do SPF - *Safety Performance Function* do HSM com o fator de calibração regional igual a 1,0 e aplicado os fatores de modificação de acidentes. Reforçando que as funções de segurança foram desenvolvidas para condições ideais e posteriormente, são ajustadas para retratar melhor os segmentos estudados.

A equação utilizada para a determinação do número de acidentes levando em consideração as características locais para posterior calibração, pode ser observada abaixo:

$$N_{previsto} = VDMA \times \frac{L}{1,609} \times 365 \times 10^\alpha \times e^\beta \times C_x \times (CMF_{1r} \times \dots \times CMF_{12r}) \quad (17)$$

Conforme orientação do HSM (AASHTO, 2010), nesta etapa de cálculo, os valores considerados de α e β são -6 e -0,312, respectivamente.

Para a realizar a calibração o manual do HSM recomenda o uso mínimo de 30 a 50 trechos de um mesmo tipo de via e a escolha desses locais não devem ser pelo elevado número de acidentes (AASHTO, 2010). O manual ainda lista as características geométricas e operacionais que integram o método preditivo e as classifica como variáveis necessárias ou desejáveis. Quando os dados desejáveis de alguma variável não estão disponíveis, é possível adotar os dados fornecidos pela HSM. A Tabela 3.11 apresenta as variáveis necessárias e desejáveis classificadas presentes no manual americano.

Tabela 3.11 - Dados necessários para calibração do modelo de previsão de acidentes para rodovias de pista simples

Características da rodovia	Necessidade de dados		Valores default*
	Requerido	Desejável	
Comprimento do trecho	X		Dado necessário
Volume Diário Médio Anual (VDMA)	X		Dado necessário
Comprimento das curvas horizontais e tangentes	X		Dado necessário
Raio das curvas horizontais	X		Dado necessário
Presença de transição espiral		X	Padrão local
Variância da superelevação das curvas horizontais		X	Sem variação
Greide		X	Considerar relevo ²
Largura da faixa	X		Dado necessário
Tipo e largura do acostamento	X		Dado necessário
Presença de iluminação		X	Não iluminado
Densidade de acessos		X	8 acessos/km
Presença de faixa adicional		X	Ausente
Presença de faixa adicional em ambos os lados		X	Ausente
Presença de faixa de acomodação central para conversão	X		Dado necessário
Presença de guias sonoras centrais		X	Padrão local
Taxa de atrito lateral à via (RHR)		X	RHR: 3
Radars eletrônicos		X	Padrão local

* Valores usados na ausência dos dados desejáveis

²Valores de CMF sugeridos: relevo plano:1,00; relevo ondulado: 1,06; relevo montanhoso: 1,14

Fonte: *Adaptado* de AASHTO, 2010.

Assim, a partir da razão entre o número total de acidentes observados e o número total de acidentes previstos em um mesmo grupo de elemento individual e em um determinado período de tempo, é estimado o fator de calibração da amostra conforme demonstra a equação abaixo:

$$C_x = \frac{\sum_{elementos} Acidentes\ observados}{\sum_{elementos} Acidentes\ previstos} \quad (18)$$

Sendo que:

C_x : fator de calibração para um tipo de elemento viário x (segmento ou interseção);

Acidentes observados: soma de todos os acidentes ocorridos no período de interesse em unidade, independente do tipo ou nível de severidade;

Acidentes previstos: acidentes calculados a partir do N_{previsto} no período de interesse.

Além de encontrar o fator de calibração para todo o universo de dados, é possível também desenvolver um fator de calibração para os grupos de rodovias que compõem a amostra. Através deste fator por rodovia, chamado de Fr , é possível realizar a calibração de modelos preditivos por rodovia, verificando a transferibilidade da metodologia HSM para condições ainda mais específicas da amostra total inicialmente modelada. Também é possível encontrar o fator de calibração pontual dos segmentos homogêneos, chamado de Fp . Este fator pontual permite uma visualização direta dos segmentos homogêneos, entre a relação dos acidentes observados e previstos, analisando pontualmente se a relação é superestimada ou subestimada comparada a condição original. As equações para a determinação de Fr e Fp são apresentadas a seguir e comparada com a equação apresentada anteriormente, apenas difere na razão da somatória do conjunto de dados dos acidentes observados e previstos.

$$Fr = \frac{\sum \text{Elementos por grupo de rod, Acidentes observados}}{\sum \text{Elementos por grupo de rod, Acidentes previstos}} \quad (19)$$

$$Fp = \frac{\text{Elemento individual, Acidentes observados}}{\text{Elemento individual, Acidentes previstos}} \quad (20)$$

A calibração do modelo também pode ser realizada na própria função de desempenho SPF, mantendo-se o valor de C_x em 1,00 e determinando um novo valor de β na equação 17, apresentada anteriormente.

UDOT (2011) considera constante o valor da multiplicação entre C_x e e^β , como pode ser observado na equação:

$$U = C_x \times e^\beta \quad (21)$$

Com a aplicação da propriedade dos logaritmos pode-se obter o novo valor de γ para β , substituindo este valor na equação de determinação dos acidentes e mantendo o valor de C_x igual a 1,00.

A calibração do parâmetro β também permite obter fatores de calibração a partir da função de desempenho que seja mais recente, neste caso, quando se nota a necessidade de atualizar a equação para um novo período ou local, o que facilita em novas adaptações do modelo.

Com os valores dos fatores C_x e Fr , é possível determinar os novos números de acidentes de acordo com a calibração da amostra total ou grupo de rodovias a partir da aplicação do novo fator na equação 17.

3.10 ETAPA 13 – APLICAÇÃO DO MÉTODO EB NOS SEGMENTOS INDIVIDUAIS

Os modelos calibrados para a região e para as amostras de segmentos de rodovias foram aplicados aos respectivos conjuntos de trechos homogêneos. Assim se obteve o número previsto de acidentes por rodovia/para cada região, nas diferentes amostras e na amostra total.

Para um refinamento dos valores obtidos e um aprimoramento do modelo do HSM, foi aplicado o método Empírico de Bayes (EB) nas rodovias analisadas e em toda amostra de dados. Foi realizada a combinação do número de acidentes obtido através do método preditivo e do número de acidentes observados naquele período.

A partir da aplicação do método EB em vias existentes, o resultado também pode ser aplicado em projeções futuras, desde que uma das condições da via sejam mantidas ou as condições estejam adequadas com a metodologia calibrada. Essas condições, são elas: elementos viários com características geométricas e operacionais mantidas (com exceção do VDMA em que se esperam alterações); projetos com pequenas alterações na seção transversal, como por exemplo, alargamento de acostamento; projetos com pequenas alterações no alinhamento; projetos com inclusão de faixa adicional de ultrapassagem ou um segmento de quatro faixas, com extensão pequena delimitada. (AASHTO, 2010).

O método é aplicado para cada trecho homogêneo ou interseção, neste projeto apenas para trecho homogêneo. No cálculo é utilizado um parâmetro de superdispersão (k), sendo que, quanto o menor o seu valor maior é a confiabilidade dos resultados do método.

O método também foi aplicado por variáveis individuais também conhecidas como elementos individuais, ou seja, foi necessário a atribuição dos acidentes observados a cada elemento definido que será utilizado na metodologia.

O HSM (AASHTO, 2010) sugere o uso do método EB para refinar os resultados obtidos do modelo, através da combinação dos acidentes previstos, dos acidentes observados e do comprimento do segmento para calcular o N_{Estimado} , de acordo com as seguintes equações:

$$N_{Estimado} = w_i + (1 - w_i) \times N_{observado} \quad (22)$$

$$w_i = \frac{1}{1+k \times (\sum \text{ todos os anos de estudo } N_{previsto,i})} \quad (23)$$

Sendo:

$N_{Estimado,i}$ = número médio estimado de acidentes para o período e segmento homogêneo de estudo;

$N_{Observado,i}$ = número médio observado de acidentes para o período de estudo e segmento homogêneo i de estudo;

w_i = peso de ajustamento na estimativa do modelo preditivo analisando o segmento homogêneo i;

k = parâmetro de dispersão da distribuição binomial negativa, conforme a equação 5.

3.11 ETAPA 14 A 16 – REPETIÇÕES DA APLICAÇÃO DO MÉTODO NOS ELEMENTOS INDIVIDUAIS EM UM NOVO PERÍODO DE TEMPO

As etapas 14 e 15 referem-se na repetição da aplicação do modelo em elementos individuais em um novo período de tempo. O manual recomenda que sejam realizadas repetições com um período de intervalo mínimo de 3 a 5 anos.

Após todas as repetições necessárias, é realizada a soma dos acidentes calculados em todos os elementos individuais ao longo do anos modelados conforme a equação 22, constituindo-se assim, a etapa 16.

$$N_{total\ acidentes} = \frac{N_{total}}{n} \quad (24)$$

Sendo:

$N_{total\ acidentes}$: frequência total de acidentes prevista para um determinado elemento e uma amostra durante todo o período em estudo;

n: número de anos do período em estudo.

3.12 ETAPA 17 – OUTRA SITUAÇÃO ALTERNATIVA A SER AVALIADA?

Esta etapa refere-se se existe um projeto alternativo, tratamento ou previsão de um novo VDMA para ser avaliado. As etapas anteriores devem ser repetidas, conforme apropriado, não apenas para os mesmos

limites da rodovia, como também para condições alternativas, tratamentos, períodos de interesse ou novas previsões de VDMA. (AASHTO, 2010).

3.13 ETAPA 18 E 19 – APLICAÇÃO DE MEDIDAS ESTATÍSTICAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE AJUSTE E RESULTADOS

Serão adotadas algumas medidas estatísticas para auxiliar na avaliação dos resultados finais, partindo da aferição da qualidade dos ajustes entre o número de acidentes previstos e os acidentes observados.

A primeira será a avaliação da correlação entre os números de acidentes previstos e observados em cada segmento, utilizando-se da técnica de regressão linear simples. A correção será realizada entre os dados reais e obtidos através de todos os modelos preditivos aplicados.

A escolha de outras medidas de ajustes partiu da avaliação e da análise, de quais haviam sido empregadas em alguns dos estudos selecionados na revisão bibliográfica. O Quadro 3.1 consta um resumo das medidas utilizadas em alguns estudos.

Foram escolhidas para segunda medida de ajuste de qualidade, a de avaliação de aderência da distribuição de acidentes nos segmentos, entre os dados reais e os previstos, para isso utilizando testes estatísticos *Chi-quadrado* (em que é observado o valor de pearson x^2). Por fim, as outras medidas que serão aplicadas são a *Mean absolute deviance* (MAD) e a *Mean absolute percentage error* (MAPE).

Quadro 3.1 - Medidas de qualidade de ajuste empregadas em alguns estudos.

Medidas de qualidade de ajuste empregadas em trabalhos							
Publicações	CURE	MAD	MAPE	R ² Efrom	Pearson x^2	Z-escore	Outros
Silva et al., 2011					x		Kolmogorov-Smirnov
Sacchi et al., 2012	X	X					Parâmetro de super dispersão recalibrado
Costa e Barbosa, 2014					X	X	Parâmetro de super dispersão recalibrado
Cunto et al., 2015	X	X	X		X	X	
Waihrich, 2016		X	X	X			

Fonte: Autora.

- Desvio médio absoluto (MAD)

Esta medida de qualidade de ajuste proporciona uma medida do desvio médio do modelo calibrado, sendo que um valor próximo de 0 indica um bom ajuste do modelo. O desvio médio absoluto é calculada através da equação (adaptada de Lord *et al.* 2008):

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |N_{obs_i} - N_{prev_i}|}{n} \quad (25)$$

Sendo que:

N_{obs_i} : número total de acidentes ocorridos em cada elemento individual (i) em um determinado período de tempo;

N_{prev_i} : número total de acidentes previstos em cada elemento individual (i) em um determinado período de tempo;

n: número total de elementos individuais da amostra.

- Erro percentual absoluto médio (MAPE)

Calcula a média de todos os erros absolutos percentuais através da seguinte equação:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n |N_{obs_i} - N_{prev_i}|}{N_{obs_i}} \quad (26)$$

Sendo que:

N_{obs_i} : número total de acidentes ocorridos em cada elemento individual (i) em um determinado período de tempo;

N_{prev_i} : número total de acidentes previstos em cada elemento individual (i) em um determinado período de tempo;

n: número total de elementos individuais da amostra.

- Pseudo-R²

O coeficiente de determinação (R²) indica o quanto o modelo foi capaz de explicar os dados coletados. O pseudo-R² proposto por Efron (Hardin e Hilbe, 2007), fornece uma medida da qualidade ajuste de um modelo preditivo de acidentes. (WAIHRICH, 2016).

Este coeficiente é a razão entre a soma de quadrados de uma regressão e a soma de quadrados total, conforme a expressão da equação:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (N_{obs_i} - N_{prev_i})^2}{\sum_{i=1}^n (N_{obs_i} - \bar{N}_{obs})^2} \quad (27)$$

Sendo que:

\bar{N}_{obs} : média dos acidentes ocorridos em todos os elementos individuais em um determinado período de tempo;

N_{obs_i} : número total de acidentes ocorridos em cada elemento individual (i) em um determinado período de tempo;

N_{prev_i} : número total de acidentes previstos em cada elemento individual (i) em um determinado período de tempo;

O valor do coeficiente de determinação depende do número de observações (n), tendendo a crescer quando o n diminui. Na interpretação do resultado R^2 , os valores mais próximos de um indicam um melhor ajuste do modelo.

- Pearson χ^2 (Aderência)

Este teste estatístico é utilizado para verificar se existe independência ou alguma relação entre variáveis de uma amostra. A hipótese nula é de que as variáveis não estão associadas, ou seja, elas são independentes. A hipótese alternativa é de que as variáveis estão associadas/dependentes.

O χ^2_{calc} é obtido a partir de dados experimentais, levando-se em consideração os valores observados e os esperados, conforme é apresentado na equação a seguir:

$$\chi^2_{calc} = \sum_{i=1}^m \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (28)$$

Sendo que:

O_i : frequência de acidentes observados na categoria i

E_i : frequência de acidentes previstas na categoria i

Como trata-se de uma hipótese alternativa, em que as frequências observadas de acidentes são diferentes das frequências previstas, há necessidade de verificar a associação entre os grupos através da comparação dos dados de χ^2 calculado com o χ^2 tabelado.

O χ^2 tabelado depende do número de graus de liberdade e do nível de significância adotado, sendo:

$$v = k - 1 - r \quad (29)$$

Onde:

v: número de graus de liberdade;

k: número de categorias em que a amostra foi dividida;

r: número de parâmetros estimados para o cálculo de E_i .

Assim, para um nível de significância α , a tomada de decisão é realizada comparando-se os dois valores de χ^2 :

- Se χ^2 calculado $\geq \chi^2$ tabelado \rightarrow rejeita-se o modelo
- Se χ^2 calculado $\leq \chi^2$ tabelado \rightarrow aceita-se o modelo

Quanto maior for o valor de χ^2 mais significativa é a relação entre a variável dependente e a variável independente.

4 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS RODOVIAS PARA A CALIBRAÇÃO DO MÉTODO PREDITIVO DO HSM

4.1 SELEÇÃO DAS RODOVIAS E IDENTIFICAÇÃO DO SEGMENTOS HOMOGÊNEOS

As vias escolhidas para o desenvolvimento do projeto foram rodovias rurais de pista simples pavimentadas do Estado de Santa Catarina.

Para identificar todas as rodovias estaduais e os trechos dessas rodovias que são classificados como primários, secundários e terciários, foi utilizado o Plano Diretor Rodoviário para o Estado de Santa Catarina, desenvolvido por Scetauroute e Prosul (2008) para o Deinfra/SC. Neste estudo também foi possível coletar informações da malha rodoviária catarinense como larguras da via, tipo de revestimento, largura das faixas e acostamento, número de faixas, classe geométrica, tipo e sinuosidade da curva, classificação funcional e do tipo do entorno (urbano ou rural). Essas informações coletadas, podem ser observadas no recorte da planilha do estudo, conforme a Figura 4.1.

Figura 4.1 - Características da malha rodoviária catarinense no ano de 2007 – Exemplo

A	B	NU PROJ	NU SEG	CD RODOVIA	SIGLA	TRECHO	KM INICIAL	KM FINAL	KM	Vel FL (km/h)
2936	2957	700	1	1917	SC108	DISTRITO DE VILA NOVA- ENTR (A) BR280(GUARAMIRIM	4,456	19,345	14,889	75
2936	3235	700	1	1765	SC108	DISTRITO DE VILA NOVA - ENTR (A) BR280(GUARAMIRIM	19,345	26,199	6,854	68

(...)cont.

TIPO DE REVEST.	CLASSE FUNCIONAL	LARG PISTA (m)	LARG FAIX (m)	ACOST (m)	ENTORNO	CURV HORIZ (°/km)	CURV VERT m/km	Nr FAIXAS	CLASSE GEOM
PAV. ASFALTICA	S	7,00	3,500	1,5	RURAL	75	5	2	3
PAV. ASFALTICA	S	7,00	3,500	1,5	RURAL	156	4	2	5

(...)cont.

TIPO CURVA	ID MICRORRE	LARG ACOS	FH 30	FH 50	ESTADO DE CONSERV	FUNCAO (U=1 ; R=2)	FATOR VEL	ESTADO	RES VC1	RES VC2	SENTIDO
5	24	0	0	0	B	2	1	SC	0	0	2
5	25	0	0	0	B	2	1	SC	0	0	1

Fonte: Scetauroute e Prosul, 2008.

A distinção entre área urbana e área rural está relacionada às diferenças de densidade e tipo de uso do solo. A diferenciação do tipo de ocupação do solo, foi embasada nas informações disponíveis no estudo Scetauroute e Prosul (2008), embasada na normatização brasileira (DNER, 1999). Por sua vez, a normatização brasileira está em acordo com a normatização americana presente na metodologia HSM (AASHTO, 2010), sendo que ambas estabelecem que as áreas urbanas são locais mais densamente povoados, situados dentro de limites da fronteira de crescimento urbano com população acima de cinco mil habitantes. Fora destes limites, a área é considerada como rural.

A estrutura detalhada do estudo realizado por Scetauroute e Prosul (2008) pode ser observada no Quadro 4.1, sendo que o volume grifado (amarelo) subsidiou a escolha das rodovias que foram modeladas neste projeto.

Quadro 4.1 – Composição do Plano Diretor Rodoviário para o Estado de Santa Catarina

Componente I - Programa de Contagens Sistemáticas de Tráfego
Volume I.1 Concepção, Desenvolvimento e Operação do Programa
Componente II – Sistema de Planejamento Rodoviário
Volume II.1 Sistema de Informação Rodoviária (SIR)
Volume II.2 Sistemas Gerenciais do DEINFRA
Volume II.3 Sistema de Gestão dos Dados de Tráfego (GDT)
Volume II.4 Estudos Sócio-Econômicos – Matrizes (ESE)
Volume II.5 Sistema de Gestão de Matrizes e de Dados (GEMADA)
Volume II.6 Sistema Intermodal de Transportes (SIT)
Volume II.7 Sistema da Condição da Malha (HDM)
Volume II.8 Sistema de Previsão da Demanda de Tráfego (SAR)
Volume II.9 Sistema de Previsão da Demanda de Tráfego (CUBE)
Volume II.10 Sistema de Avaliação Multicritério da Malha (SMC)
Componente III – Plano Diretor Rodoviário
Volume III.1 Síntese do Plano Diretor Rodoviário
Volume III.2 A Malha Rodoviária Atual do PDR/SC
Volume III.3 Visão do Futuro
Volume III.4 A Malha Rodoviária Futura
Volume III.5 Plano Diretor Rodoviário

Fonte: Deinfra, 2017. Disponível em: <
http://www.deinfra.sc.gov.br/jsp/relatorios_documentos/plano_rodoviario/download/Volume_III.2_A_Malha_Rodoviaria_Atual_do_PDRSC.pdf>.

Com o banco de dados de rodovias em mãos, foram realizados alguns filtros a fim de realizar a primeira delimitação da amostra que serviu como base para os modelos de previsão de acidentes, como é apresentado na Tabela 4.1. Pelos dados consultados, a malha rodoviária catarinense no ano de 2007 totalizava uma extensão de 10.380,631 km. Descontando deste montante os segmentos de acessos, ramos e rodovias federais, a amostra de rodovias estaduais catarinenses alcançou os 7.026,363 quilômetros de extensão.

Devido à dificuldade em se trabalhar com uma amostra total de rodovias estaduais devido à grande extensão, foram aplicados mais alguns filtros, descontando os segmentos de rodovias estaduais com classe funcional terciária, os segmentos com entorno urbano, os com revestimento poliédrico, primário e leito natural. No final, considerando os segmentos de rodovias estaduais rurais primárias e secundárias com revestimento asfáltico, a amostra total resultou em 2425,096 quilômetros de rodovias. Todos os segmentos de rodovias que receberam filtros, possuíam duas faixas de rolamento, logo, classificadas como pista simples, com exceção de apenas um trecho com revestimento poliédrico, que no decorrer dos filtros acabou sendo excluído da amostra. A Tabela 4.1 apresenta os filtros aplicados para a definição da amostra inicial (01).

Tabela 4.1 - Relação de filtros e respectivas extensões. Amostra 01.

Filtros	Extensão (km)
Malha Rodoviária Catarinense	10380,631
(-) Acessos	10147,005
(-) Ramos	9261,904
(-) Rodovias Federais	7026,363
(-) Rodovias Estaduais Terciárias	3404,623
(-) Rodovias Estaduais com Entorno Urbano	3116,487
(-) Rodovias Estaduais com Revestimento Poliédrico	3114,385
(-) Rodovias Estaduais com Leito Natural	2521,237
(-) Rodovias Estaduais com Revestimento Primário	2425,096
(-) Rodovias Estaduais Secundárias com Revestimento Asfáltico	252,726

Fonte: Autora.

Como o filtro foi realizado em um estudo de 2007, algumas rodovias que possuíam leito natural e/ou revestimento primário, podem ter recebido a pavimentação asfáltica e hoje, estariam também inseridas na amostra total deste estudo. Considerando isso, foram separados os

trechos com essas características e considerados como margem à amostra inicial dos 2425,096 quilômetros, conforme demonstrado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Margem da amostra 01. Rodovias rurais de pista simples Primárias e Secundárias, com Revestimento Primário e Leito Natural.

Rodovias Estaduais Rurais Primárias e com Revestimento Asfáltico	252,726
Rodovias Estaduais Rurais Secundárias e com Revestimento Asfáltico	2172,370
Rodovias Estaduais Rurais Primárias e com Leito Natural (margem)	17,800
Rodovias Estaduais Rurais Secundárias e com Leito Natural (margem)	575,348
Rodovias Estaduais Rurais Primárias e com Revestimento Primário (margem)	0,000
Rodovias Estaduais Rurais Secundárias e com Revestimento Primário (margem)	96,141

Fonte: Autora.

Posteriormente, foi realizada uma consulta ao DEINFRA para se obter informações de quais rodovias receberam algum tipo de intervenção e principalmente, quais as rodovias estaduais da Tabela 4.2 receberam o revestimento asfáltico após 2007. Como o período definido de dados de acidentes de trânsito foi de 2010 a 2016, todas intervenções de obras realizadas neste período foram analisadas e excluídos os segmentos recebidos melhorias.

Também foram consultados decretos que foram publicados após o ano de 2007, que transformaram segmentos rurais em vias urbanas. Assim, a amostra 01 de 2425,096 foi reduzida para 2199,481 quilômetros, conforme pode ser observado na Tabela 4.3. Reforçando que esta amostra foi delimitada em segmentos de rodovias rurais de pista simples primárias e secundárias, com revestimento asfáltico e com entorno rural.

Tabela 4.3 - Amostra 02 das rodovias rurais catarinenses. Em quilômetros.

Rodovia	Extensão Total	Rodovia	Extensão Total
SC108	262,600	SC355	53,171
SC110	122,000	SC370	24,400
SC114	178,700	SC386	20,884
SC120	2,562	SC390	215,800
SC135	117,000	SC445	15,800
SC150	50,130	SC446	10,500
SC154	9,244	SC451	18,531
SC155	96,100	SC452	4,022
SC157	89,800	SC453	21,756
SC160	99,600	SC464	34,353
SC163	28,984	SC472	30,394
SC283	190,939	SC479	11,000
SC290	20,980	SC480	174,110
SC305	56,941	SC486	42,358
SC350	196,822	Total	2199,481

Fonte: Autora.

Para as características operacionais, como o volume médio diário anual - VDMA, o DEINFRA/SC também foi consultado para auxílio desses dados e dos demais que forem necessários durante o andamento da pesquisa. Conforme preconiza o manual, caso o volume de tráfego não esteja disponível para todo o período de análise e na falta de métodos apropriados para realizar a interpolação e/ou extrapolação, pode-se assumir o VDMA de um ano para todos do período.

Em posse do dados fornecidos de VDMA, houve a necessidade de realizar um terceiro filtro da amostra do projeto. Como não haviam dados de tráfego dos anos de 2015 e 2016, o período da amostra ficou delimitado entre os anos de 2011 a 2014. O ano de 2010 foi eliminado devido à falta de dados de algumas rodovias. Referente aos trechos, foram retirados 6 segmentos de rodovias devido à falta de dados de VDMA e pelas últimas informações do DEINFRA, alguns ainda estão classificados como revestimento primário. As extensões finais das rodovias que compõem este estudo, pode ser observada na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Amostra 03 das rodovias rurais catarinenses. Em quilômetros

Rodovia	Extensão	Rodovia	Extensão	Rodovia	Extensão
SC108	237,600	SC157	89,800	SC370	24,400
SC110	122,000	SC160	65,200	SC386	20,884
SC114	178,700	SC163	28,984	SC390	215,800
SC120	2,562	SC283	190,939	SC445	15,800
SC135	117,000	SC290	20,980	SC446	10,500
SC150	50,130	SC305	56,941	SC451	18,531
SC154	9,244	SC350	196,822	SC453	21,756
SC155	96,100	SC355	53,171	SC480	174,110
				SC486	33,958
Total	813,336	Total	702,837	Total	535,739
Total geral	2051,912				

Fonte: Autora.

Na etapa da segmentação dos trechos homogêneos (TH) em elementos viários foram utilizados os recursos disponíveis no programa computacional *Google Earth Pro* (Google, 2017), com imagens de satélite disponíveis para o período da amostra. Dentre os recursos utilizados, destaca-se as ferramentas de medição e o plugin do *Street View*, que fornece vistas panorâmicas das rodovias, permitindo a identificação de locais com variação de seção e principalmente, identificação do entorno da via. A segmentação das rodovias em trechos homogêneos foi realizada a partir das informações operacionais, informações geométricas e com o auxílio dos recursos do Google Earth.

Durante a separação dos segmentos das rodovias selecionadas, percebeu-se que haviam diferenças em relação a nomenclatura atual. Foi consultado o mapa de correlações de rodovias do DEINFRA, afim de identificar os novos marcos quilométricos dos trechos e realizar a transição dos trechos nos novos quilômetros. Porém, foi notado que muitas rodovias do estudo inicial não constavam como rodovias antigas no mapa de correlação. Muitas dessas rodovias, a identificação teve que ser manual, partindo de pontos de referência que eram comum entre as nomenclaturas.

Esta identificação manual foi realizada com o auxílio do Google Earth a partir das informações de pontos de referências das nomenclaturas antigas. A Figura 4.2 apresenta como estas informações foram fornecidas pelo DEINFRA.

Figura 4.2 - Correlação de Rodovias

ESTADO DE SANTA CATARINA Departamento Estadual de Infra Estrutura Correlação de Trechos Atuais e Antigos e Pontos de Referência							
Nomenclatura Atual				Nomenclatura Antiga			
Rodovia/Ac.	Trecho	Característica	KM	Ponto Referência	Rodovia	Trecho	KM
SC108	JOINVILLE (BAIRRO VILA NOVA) - ENTR. BR-280 (P/ ARAQUARI)	Estadual	4,500	VILA NOVA (INTERSEÇÃO DA RUA XV DE NOVEMBRO COM A RUA JÚLIO STOLF)	SC413	Vila Nova - Entr. BR280 (Guaramirim)	15,300
SC108	JOINVILLE (BAIRRO VILA NOVA) - ENTR. BR-280 (P/ ARAQUARI)	Estadual	5,200	INÍCIO DA PONTE SOBRE O RIO MUTUCAS	SC413	Vila Nova - Entr. BR280 (Guaramirim)	16,000

Fonte: DEINFRA, 2017.

No arquivo de correlação de rodovias foi observado que alguns segmentos não estavam na jurisdição estadual do Deinfra, sendo classificados como via urbana. Desta forma, alguns segmentos, como trechos da atual SC-163 (antiga SC-472), foram excluídos da relação de rodovias.

Através do trabalho de identificação de segmentos diretamente em mapa no Google Earth, foram realizadas todas as marcações de segmentos homogêneos que posteriormente, compuseram a amostra final de projeto. Este cadastro realizado, ilustrativamente pode ser observado na Figura 4.3 com apenas a amostra parcial da SC-108 cadastrada. O cadastro completo com o arquivo em formato kmz consta no apêndice I em forma de CD-ROM.

Figura 4.3 – Cadastro parcial dos segmentos homogêneos da SC-108



Fonte: Cadastro no Google Earth, Autora.

A identificação das referências dos segmentos de rodovias pré-selecionados, possibilitou realizar uma nova segmentação da amostra a partir de dados observados do entorno e características geométricas que não haviam sido fornecidas anteriormente pelo órgão estadual. Em relação as características geométricas observadas, foram identificados trechos com presença de interseções, faixa adicional em sentido único, pista dupla em pequenas extensões, retornos em nível, retornos em desnível, pontes em locais com redução da seção transversal da via, rotatórias e faixas exclusivas para oportunidade à ultrapassagem. Todos os trechos que possuíam essas características, foram descontados da amostra do estudo.

Segmentos com grande concentração de faixas de pedestres, redutores físicos de velocidade e com presença de passeio público em concreto, principalmente quando estas três características estavam presentes, foram excluídos das amostra. Apesar do local estar classificado como rural, foram observadas várias características urbanas, justificando assim, a exclusão desses pontos.

Apesar do método preditivo do HSM considerar trechos de rodovias de pista simples que apresentam faixa adicional e/ou faixa central para conversão à esquerda, se optou por excluir esses segmentos

para construir uma amostra caracterizada apenas por trechos de pista simples, constituído por apenas uma faixa para tráfego por sentido.

Através do cadastro das referências e dos segmentos da amostra 03, foi possível realizar a identificação de obstáculos presentes às margens da rodovia, e verificar a distância aproximada em que os mesmos estavam em relação ao bordo da faixa de rolamento da rodovia. Esta informação possibilitou realizar o cálculo do fator de modificação CMF_{10r} que avalia a influência dos possíveis obstáculos ao entorno da via na ocorrência de acidentes do segmento analisado.

O cadastro também possibilitou analisar e quantificar os acessos existentes ao longo dos segmentos analisados. Conforme orienta o manual do HSM, segmentos que possuem uma densidade de acessos acima de 8/km podem afetar os resultados dos modelos preditivos. Assim, os trechos que possuíam grande concentração de acessos de incorporação e desincorporação à via, foram descartados da amostra de dados. A quantificação de acessos foi um dado que possibilitou a determinação do CMF_{6r} , fator de modificação que calcula a influência da densidade de acessos no número de acidentes ocorridos no segmento.

Através do cadastro, pode-se identificar os locais com presença de fiscalização eletrônica, característica que também determina o CMF_{12r} . Após a identificação dos segmentos homogêneos e suas as extensões finais, o número de trechos selecionados de cada rodovia são apresentados no resumo da Tabela 4.5. No total, a amostra modelada foi composta de 367 segmentos homogêneos que totalizaram uma extensão de 1147,565 quilômetros. No apêndice A constam todos os segmentos homogêneos (THS) de cada rodovia selecionada da amostra.

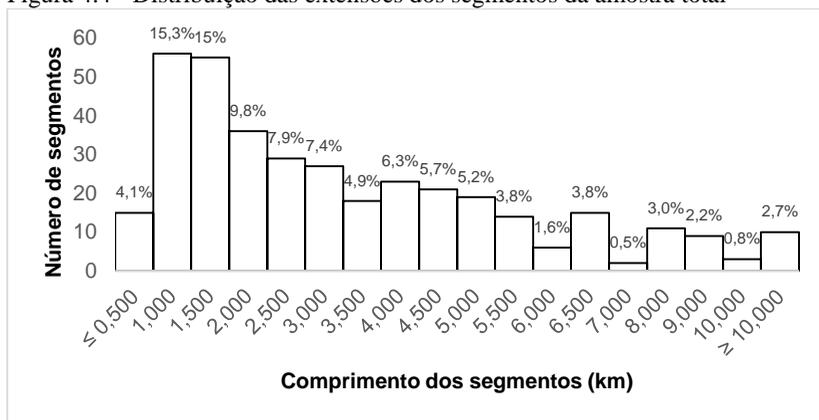
Tabela 4.5 – Resumo das rodovias e extensões da amostra final.

Rodovia	Extensão (km)	n° de segmentos	Rodovia	Extensão (km)	n° de segmentos
SC108	109,200	59	SC350	154,185	54
SC110	92,450	21	SC355	33,002	18
SC114	145,650	39	SC390	142,250	38
SC135	109,000	23	SC486	29,704	16
SC155	51,150	12	SC480	24,081	15
SC157	47,350	17	SC150	16,894	7
SC160	35,100	13	SC464	14,918	2
SC283	93,786	26	Total	1132,647	367,000
SC305	48,845	9			

Fonte: Autora.

Na Figura 4.4 é apresentada de forma gráfica a distribuição da extensão dos 367 segmentos selecionados. Apesar da faixa de segmentos menores ou iguais a 0,5km representarem 4,1% de toda amostra, não foram selecionados segmentos com comprimento menor que 0,200km conforme orienta o manual. As extensões de segmentos de 1 a 3km representam 55,4% de toda a amostra. Apenas 10 segmentos alcançaram um comprimento superior a 10km, compondo assim uma proporção de apenas 2,7%.

Figura 4.4 - Distribuição das extensões dos segmentos da amostra total



Fonte: Autora.

As características geométricas e operacionais dos segmentos homogêneos podem ser observadas no Apêndice I. Para exemplificar a disposição dos dados, no Apêndice B constam as características da SC108.

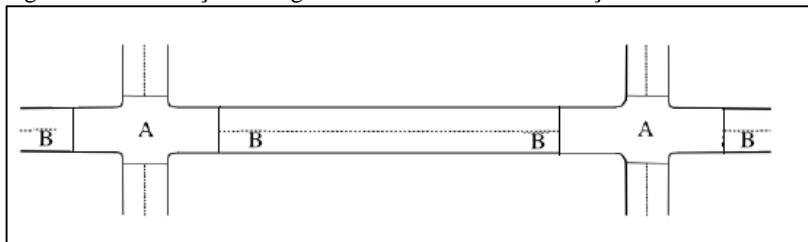
4.2 LEVANTAMENTO DOS ACIDENTES OCORRIDOS NOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS

Para o histórico de acidentes, foi utilizada a base de dados da Polícia Militar Rodoviária Estadual - PMRV/SC, considerando inicialmente o período de 2010 a 2016. O manual HSM recomenda que o período de dados seja de 3 a 5 anos. Posteriormente, o período de dados foi reduzido para 2011 a 2014 devido à falta de informações completas dos anos de 2010, 2015 e 2016. Os dados recebidos de acidentes foram do trecho inicial ao final, de cada rodovia selecionada para o estudo.

Como para amostra do estudo foi observado um número muito grande de colisões traseiras próxima à interseções, os limites entre

interseção e segmento apresentado no manual HSM foi modificado e utilizado conforme apresentado na Figura 3.2. Durante a separação de trechos homogêneos, também foi observado que grande parte das interseções eram urbanizadas, justificando assim, a alteração dos limites desses elementos. A disposição dos limites originais sugeridos pelo manual pode ser observados na Figura 4.5. A alteração dos limites da região A foi de uma extensão de 50m no trecho da região B.

Figura 4.5 – Definição de segmentos de rodovias e interseções



Fonte: Autora

Desta forma, houve a necessidade de realizar a separação dos acidentes que se encaixavam dentro do segmento selecionado de cada rodovia. Esses dados seguem apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Resumo dos acidentes observados por rodovia ao longo do período de 2011 a 2014

Rodovia	Extensão (km)	n° de segmentos	Acidentes Observados					Total
			2011	2012	2013	2014		
SC108	109,200	59	421	415	416	399	1651	
SC110	92,450	21	75	53	55	74	257	
SC114	145,650	39	196	218	191	200	805	
SC135	109,000	23	117	117	163	139	536	
SC155	51,150	12	59	45	44	40	188	
SC157	47,350	17	33	52	62	73	220	
SC160	35,100	13	43	43	45	72	203	
SC283	93,786	26	184	203	195	176	758	
SC305	48,845	9	43	42	51	56	192	
SC350	154,185	54	199	230	218	195	842	
SC355	33,002	18	61	57	48	93	259	
SC390	142,250	38	166	163	163	163	655	
SC486	29,704	16	79	90	101	100	370	
SC480	24,081	15	51	49	56	78	234	
SC150	16,894	7	22	22	20	23	87	
SC464	14,918	2	7	2	8	3	20	

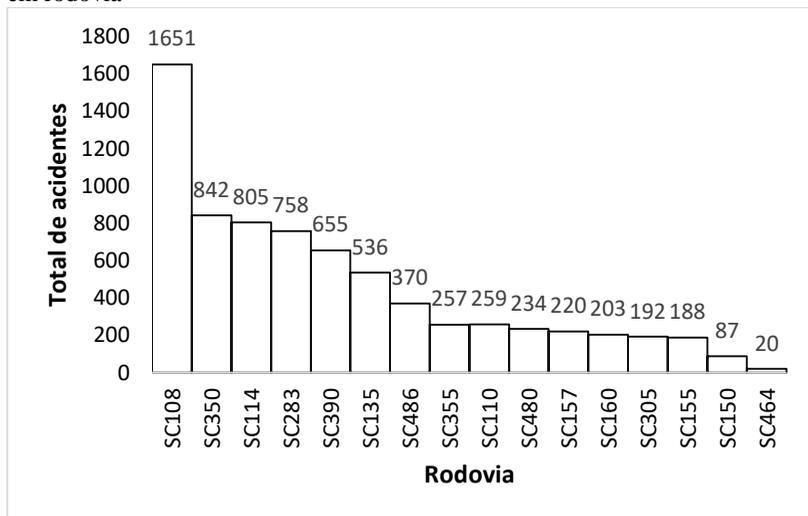
Fonte: Autora.

A rodovia com maior frequência acumulada de acidentes observados ao longo de 2011 a 2014, foi a SC-108 seguida pela SC-350, com cerca de 22,69% e 11,57%, respectivamente, de todas as ocorrências

da amostra. Analisando a ocorrência de acidentes em relação ao segmento de rodovia, a SC-108 e SC-486, possuem maior índice de acidente/km, com 15,11 e 12,45, respectivamente.

O gráfico da Figura 4.6 apresenta o acumulado dos acidentes observados ao longo dos anos de 2011 a 2014 em ordem crescente das rodovias selecionadas.

Figura 4.6 - Distribuição acumulada dos acidentes ocorridos entre 2011 a 2014 em rodovia



Fonte: Autora

Em duas rodovias que haviam sido selecionadas, a SC-451 e SC-445, não haviam registros de acidentes atribuídos a estes trechos. Desta forma, estas vias foram retiradas da amostra final do trabalho, que foi apresentada anteriormente.

Foi elaborado um resumo da tipologia dos acidentes nas rodovias em estudo através dos dados fornecidos pela PMRV/SC (Tabela 4.7). O tipo de acidente que resulta em um maior número de mortes é o colisão, seguido da saída de pista, com ocorrências registradas entre 2011 e 2014 de 195 e 152, respectivamente. Em relação a maior incidência com feridos, destaca-se o abaloamento, com cerca de 3637 acidentes. Quanto ao número de acidentes ocorridos, não levando em consideração a divisão entre acidentes com vítimas ou com apenas danos materiais, o abaloamento também é o tipo de acidente com maior frequência acumulada de ocorrências, alcançando 6363 registros. A classificação

completa dos acidentes ao longo do anos e em cada rodovia deste estudo, pode ser analisada no Apêndice C. Esta classificação serviu como subsídio no cálculo dos fatores CMF_{1r} e CMF_{2r} para a determinação da proporção de acidentes do tipo colisão + saída de pista no cálculo dos fatores de modificação.

Tabela 4.7 – Relação de mortos e feridos em relação a tipologia dos acidentes de toda a amostra

Tipo de Acidente	Mortos	Feridos	Total de acidentes
Abalroamento	109	3637	6363
Atropelamento	43	325	512
Capotamento	3	67	122
Choque	31	465	1155
Colisão	195	2176	4088
Outro	14	216	524
Saída de pista	152	2533	4477
Tombamento	27	869	1067
Total	574	10288	18308

Fonte: Autora.

5 RESULTADOS

5.1 DELIMITAÇÃO DE CENÁRIOS

Foram desenvolvidos modelos de previsão de acidentes para toda a amostra e de forma exploratória, modelos calibrados para cada rodovia presente do estudo. O desenvolvimento de modelos permitiu testar a possibilidade da transferência da metodologia americana para a realidade catarinense, possibilitando assim, desenvolver equações de desempenho de segurança que se aproximam ainda mais da realidade e das características locais.

Em paralelo, o desenvolvimento de uma única função de segurança capaz de prever o número de acidentes previstos para toda a amostra, se torna uma ferramenta mais rápida para o gerenciamento da segurança viária. Neste caso, também a avaliação da transferibilidade da metodologia americana é um dos principais objetivos deste projeto. Assim, para possibilitar uma análise mais detalhada dos resultados da transferência da metodologia HSM com os respectivos modelos desenvolvidos, foram delimitadas os seguintes cenários:

- Cenário 1 – Modelo original
- Cenário 2 – Modelo calibrado com fator regional *por rodovia*;
- Cenário 3 – Modelo calibrado com fator regional *de toda amostra*;
- Cenário 4 – Modelo calibrado e refinado pelo método empírico de Bayes *por rodovia*;
- Cenário 5 – Modelo calibrado e refinado pelo método empírico de Bayes *de toda amostra*.

5.2 FATORES DE MODIFICAÇÃO DE ACIDENTES – CMFS

Para o cálculo dos fatores de modificação de acidentes, foram realizados alguns ajustes dos dados e interpolação de valores de equações para a obtenção dos fatores multiplicativos. Referente ao CMF_{lr} , que avalia a influência da largura da faixa na frequência de ocorrência dos acidentes, foi realizado o arredondamento de larguras de faixa conforme preconiza o manual, antes da obtenção de uma das variáveis presentes na equação do fator. O método fornece apenas 4 equações para a determinação da variável CMF_{ra} , desta forma, foi realizada a interpolação de dados e a determinação de novas equações para o cálculo de em função

de larguras diferentes, como pode ser observado nas linhas destacadas das Tabelas 5.1 e 5.2.

Tabela 5.1 - Ajuste da largura da faixa medida

LW - Largura da faixa medida (m)	Arredondamento (m)
$LW \leq 2,8$	2,8
$2,8 < LW < 3,0$	2,9
$3,0 \leq LW \leq 3,1$	3
$3,1 < LW \leq 3,3$	3,2
$3,3 < LW \leq 3,4$	3,4
$3,4 < LW < 3,6$	3,5
$LW \geq 3,6$	3,6

Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

Tabela 5.2 - Equações utilizadas para a determinação do CMF_{1r}

Largura da faixa de rolamento (m)	VDMA (veículos/dia)		
	< 400	400 até 2000	>2000
$\leq 2,7$	1,05	$1,05+2,81 \times 10^{-4}$ (VDMA-400)	1,5
3	1,02	$1,02+1,75 \times 10^{-4}$ (VDMA-400)	1,3
3,2	1,015	$1,015+1 \times 10^{-4}$ (VDMA-400)	1,15
3,4	1,01	$1,01+2,5 \times 10^{-5}$ (VDMA-400)	1,05
3,5	1,005	$1,01+4,167 \times 10^{-6}$ (VDMA-400)	1,025
3,6	1	1	1

Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

Da mesma forma, para a obtenção da variável CMF_{wra} do fator CMF_{2r} que avalia o efeito da largura e do tipo de revestimento de acostamento na ocorrência de acidentes do segmento em análise, foi necessário realizar a interpolação de valores para as larguras de 0,9, 1,5 e 2,1m (Tabelas 5.3 e 5.4).

Tabela 5.3 - Ajuste da largura do acostamento medido

SW - Largura do acostamento medido (m)	Arredondamento(m)
$SW \leq 0,2$	0
$0,2 < SW < 0,5$	0,3
$0,5 \leq SW \leq 0,8$	0,6
$0,8 < SW \leq 1,1$	0,9
$1,1 < SW \leq 1,4$	1,2
$1,4 < SW \leq 1,7$	1,5
$1,7 < SW \leq 2,0$	1,8
$2,0 < SW < 2,3$	2,1
$SW \geq 2,3$	2,4

Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

Tabela 5.4 - Equações utilizadas para a determinação do CMF_{wra}

Largura do acostamento (m)	VDMA (veículos/dia)		
	< 400	400 até 2000	>2000
0	1,1	$1,10+2,500 \times 10^{-4}(\text{VDMA-400})$	1,5
0,6	1,07	$1,07+1,430 \times 10^{-4}(\text{VDMA-400})$	1,3
0,9	1,045	$1,05+1,038 \times 10^{-4}(\text{VDMA-400})$	1,225
1,2	1,02	$1,02+8,125 \times 10^{-5}(\text{VDMA-400})$	1,15
1,8	1	1	1
2,1	0,99	$0,99-3,4375 \times 10^{-5}(\text{VDMA-400})$	0,935
>2,4	0,98	$0,98-6,875 \times 10^{-5}(\text{VDMA-400})$	0,87
1,5	1,01	$1,01+1,5521 \times 10^{-4}(\text{VDMA-400})$	1,075

Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

O valor *default* estimado pela AASHTO para percentual de acidentes relacionados (p_{ra}) nos segmentos analisados é de 0,574, porém, foi possível determinar a porcentagem específica para cada rodovia. Os valores utilizados ao longo do período em avaliação estão dispostos na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Percentual de acidentes por rodovia ao longo dos anos (em decimal) (p_{ra})

Rodovia	Ano			
	2011	2012	2013	2014
SC108	0,39	0,411	0,4	0,385
SC110	0,551	0,496	0,494	0,461
SC114	0,603	0,587	0,592	0,563
SC135	0,571	0,529	0,557	0,571
SC155	0,574	0,531	0,535	0,571
SC157	0,656	0,604	0,557	0,696
SC160	0,644	0,55	0,589	0,723
SC283	0,52	0,628	0,598	0,623
SC305	0,604	0,672	0,631	0,675
SC350	0,538	0,568	0,562	0,514
SC355	0,464	0,479	0,533	0,569
SC390	0,426	0,487	0,499	0,435
SC486	0,446	0,524	0,392	0,471
SC480	0,582	0,656	0,572	0,531
SC464	0,4	0,727	0,667	0,714
SC150	0,588	0,62	0,624	0,653

Fonte: Autora.

Para a determinação do CMF_{3r} , fator que calcula o efeito do alinhamento horizontal na incidência de acidentes, foi necessário calcular

o raio de curvatura médio do grau de sinuosidade presente no segmento analisado. Devido a extensão da amostra, não foi possível realizar a determinação pontual do raio de cada curva dos segmentos selecionados e assim, de forma exploratória, utilizou-se os dados de sinuosidade média SH dos trechos da amostra, coletados no estudo de Scetauroute e Proslul (2008).

Conforme destaca DNIT e UFSC (2009), a sinuosidade horizontal de rodovias é dada em °/km (graus por quilômetro) e indica a variação acumulada da direção ao ser percorrido um determinado trecho de rodovia. É calculada dividindo a somatória dos ângulos centrais α das curvas dentro de um trecho de rodovia, pela extensão total do trecho l, conforme é apresentado na equação 30:

$$SH = \frac{\sum \alpha_l}{l} \quad (30)$$

A extensão dos trechos acumulados de início e fim da curva de cada segmento avaliado foi determinada pela seguinte equação:

$$r = \left(\frac{360 \times (kmf_f - kmf_i)}{2\pi\alpha} \right) \times 1000 \quad (31)$$

Sendo que:

α : ângulo central em °/km;

kmf_f: quilômetro de faixa final;

kmf_i: quilômetro de faixa inicial;

r: raio em metros.

Para a determinação do CMF_{6r} que calcula o fator do efeito da densidade de acessos na ocorrência de acidentes, foram considerados as alças de acessos de entrada e saída dos dois sentidos da rodovia. Como não pôde-se realizar a contagem de tráfego em cada acesso dos segmentos de toda amostra, foi considerado acesso de baixa densidade, as entradas individuais isoladas de casas às margens da via. Quando haviam conglomerados de casas às margens da via, para efeito de quantificação, foi atribuído o valor de um acesso por sentido.

Como não haviam informações atualizadas sobre a existência de iluminação nas rodovias, foi adotada o valor de 1,00 no fator CMF_{11r} em todos os segmentos do estudo, considerando assim, que não há iluminação presente no trecho. Durante a separação dos trechos homogêneos e coleta de informações com a ferramenta *street view*, foi possível identificar

alguns locais que haviam iluminação presente, neste caso, sendo exclusivamente para a rodovia ou iluminação de comércio/empresas que poderiam também estar iluminando as faixas de tráfego. Porém, como não foi possível identificar a presença de iluminação em todos os trechos analisados, e no caso da presença, como não foi possível atestar o seu funcionamento, foi considerado para efeito do fator CMF_{11r} a ausência de iluminação em todos os elementos individuais da amostra.

No restante dos fatores de modificação de acidentes, foi seguido integralmente as orientações do manual da HSM, sem haver complementação de informações e/ou dados. No Apêndice H, pode ser observado o resumo das características e resultados dos fatores de modificação de acidentes nos segmentos da SC-108. A tabela completa com os resultados por segmento homogêneo de toda a amostra está disponível em CD, no apêndice I.

5.3 APLICAÇÃO DO MODELO ORIGINAL DO HSM – CENÁRIO 1

Neste cenário foi aplicado o modelo original do HSM, sendo portanto utilizada a equação original para a determinar o número previsto de acidentes (N_{prev}); a SPF discutida no item 3.7 e rerepresentada na equação 32. Os valores de α e β utilizados nesta etapa foram -6 e -0,312, respectivamente.

$$N_{SPR\ rS} = VDMA \times \frac{L}{1,609} \times 365 \times 10^\alpha \times e^\beta \quad (32)$$

A Tabela 5.6 apresenta um resumo do resultado do número de acidentes previstos por ano nos grupos de rodovias da amostra, obtidos através da função original SPF do HSM. A tabela completa, com os resultados do número de acidentes previstos por segmento homogêneo e por ano, pode ser observada no Apêndice I. No apêndice D constam os resultados da SC108.

Tabela 5.6 - Resumo do números de acidentes previstos através da equação original do HSM

Rodovia	THs	Ext. (km)	2011		2012		2013		2014	
			Nprev	Nobs	Nprev	Nobs	Nprev	Nobs	Nprev	Nobs
SC108	59	109	126,63	418	124,01	415	123,77	416	123,02	399
SC110	21	92	20,82	75	21,91	53	21,85	55	21,31	74
SC114	39	146	59,81	196	62,72	218	61,74	191	63,83	200

SC135	23	109	38,41	117	39,91	117	40,92	163	41,29	139
SC155	12	51	18,06	59	18,29	45	20,09	44	23,92	40
SC157	17	47	20,17	33	22,53	52	23,38	62	25,10	73
SC160	13	35	16,13	43	16,36	43	16,53	45	12,96	72
SC283	26	94	65,85	184	67,38	203	66,29	195	68,19	176
SC305	9	49	12,08	43	11,21	42	12,43	51	12,44	56
SC350	54	154	55,08	199	64,96	230	65,31	218	65,36	195
SC355	18	33	15,72	61	16,27	57	16,74	48	17,20	93
SC390	38	142	55,81	166	57,78	163	58,58	163	59,54	163
SC486	16	30	44,48	79	40,68	90	42,59	101	39,15	100
SC480	15	24	24,01	51	24,73	49	23,46	56	26,38	78
SC150	7	17	8,28	22	8,53	22	8,63	20	9,46	23
SC464	2	15	3,40	7	3,60	2	3,33	8	3,33	3
Total			218,86	628,00	227,75	655,00	231,07	665,00	232,86	711,00

Fonte: Autora

Adotando uma margem arbitrária de $\pm 10\%$ no resultado dos acidentes previstos, pode-se observar através da Tabela 5.7 que nenhuma rodovia alcançou um número previstos de acidentes próximo do número observado. Avaliando os resultados de toda a amostra, a equação original alcançou um valor de 2403,73 acidentes, enquanto que foram observados no período acumulado, cerca de 7274 acidentes, um valor real de 202,61% acima do calculado. A menor diferença encontrada em grupos de rodovias foi na SC464, com 13,67 acidentes previstos enquanto foram observados 20, um diferença de 46,27%. Pelos resultados obtidos pode-se perceber que o modelo original subestima a quantidade real de acidentes ocorridas no período sob análise.

Tabela 5.7 – Comparativo do número acumulado dos acidentes previstos x acumulado no período de 2011 a 2014.

Rodovia	THs	Ext. (km)	N _{prev}	N _{obs}	Diferença
SC108	59	109	497,44	1648	231,30%
SC110	21	92	85,89	257	199,22%
SC114	39	146	248,10	805	224,46%
SC135	23	109	160,52	536	233,91%
SC155	12	51	80,36	188	133,95%
SC157	17	47	91,18	220	141,28%
SC160	13	35	61,99	203	227,45%
SC283	26	94	267,71	758	183,14%
SC305	9	49	48,15	192	298,75%
SC350	54	154	250,71	842	235,85%
SC355	18	33	65,93	259	292,83%

SC390	38	142	231,70	655	182,69%
SC486	16	30	166,90	370	121,69%
SC480	15	24	98,58	234	137,38%
SC150	7	17	34,89	87	149,32%
SC464	2	15	13,67	20	46,27%
Total	369	1148	2403,73	7274	202,61%

Fonte: Autora.

Desta forma, o modelo original do método do HSM proposto por AASHTO, não se aplica à amostra deste trabalho devido as grandes diferenças observadas, havendo necessidade de realizar a calibração da equação do modelo em função das características operacionais e locais da amostra.

5.4 MODELO DE PREVISÃO DE ACIDENTES CALBRADO – CENÁRIO 2 E 3

Para a obtenção do modelo calibrado de previsão de acidentes foi necessário calcular o fator de calibração da amostra. A aplicação do fator de calibração multiplicativo na função de desempenho de segurança resulta em um número total de acidentes previstos igual aos acidentes observados. A AASHTO ressalta no apêndice A da parte C do HSM, que as amostras selecionadas são utilizadas para encontrar o fator de calibração regional de modo que torna o número total de acidentes previstos igual ao observado no período de tempo analisado.

Após o cálculo dos fatores de modificação de acidentes de acordo com as características da amostra, foi possível calcular o novo número de acidentes previstos. O cálculo detalhado dos doze fatores CMFs foram apresentados no item 5.2 e também explicados no item 3.8 da metodologia.

O novo número de acidentes previstos por segmento homogêneo foi calculado a partir da equação 33, mantendo-se o valor de C_x em 1,00, adotando α igual a -6 e β igual a -0,312.

$$N'_{previ} = VDMA \times \frac{L}{1,609} \times 365 \times 10^\alpha \times e^\beta \times C_x \times (CMF_{1r} \times \dots \times CMF_{12r}) \quad (33)$$

Na Tabela 5.8 são apresentados os resultados do número de acidentes previstos de 2011 a 2014 após a aplicação da equação 31 que utilizou os 12 fatores de modificação de acidentes encontrados para a

amostra de dados. Já o resumo dos valores dos acidentes previstos de toda amostra pode ser observado na Tabela 5.9.

Tabela 5.8 – Fator de calibração regional por grupo de rodovia

Rodovia	THs	Ext. (km)	2011		2012		2013		2014		Fr
			N _{prev}	N _{obs}							
SC108	59	109	181,58	418	179,04	415	178,85	416	177,30	399	2,30
SC110	21	92	30,36	75	31,60	53	31,93	55	30,98	74	2,06
SC114	39	146	88,71	196	92,72	218	91,50	191	94,02	200	2,19
SC135	23	109	49,43	117	52,13	117	53,87	163	54,55	139	2,55
SC155	12	51	25,65	59	25,54	45	28,15	44	34,01	40	1,66
SC157	17	47	31,75	33	34,86	52	35,66	62	40,10	73	1,55
SC160	13	35	24,32	43	23,81	43	24,42	45	19,89	72	2,20
SC283	26	94	108,78	184	112,57	203	111,86	195	115,94	176	1,69
SC305	9	49	18,16	43	16,98	42	18,89	51	19,11	56	2,63
SC350	54	154	76,28	199	90,99	230	91,42	218	89,87	195	2,42
SC355	18	33	23,86	61	24,90	57	26,32	48	27,51	93	2,52
SC390	38	142	91,69	166	96,39	163	98,20	163	97,52	163	1,71
SC486	16	30	57,01	79	53,80	90	53,45	101	50,72	100	1,72
SC480	15	24	43,62	51	44,19	49	42,67	56	46,10	78	1,33
SC150	7	17	10,86	22	11,19	22	11,32	20	12,43	23	1,90
SC464	2	15	4,73	7	5,49	2	4,92	8	4,98	3	0,99
			326,21	628	343,91	655,00	347,20	665	348,25	711	

Fonte: Autora.

Com os valores de acidentes previstos calculados, foram realizados dois cenários para a calibração do modelo preditivo, sendo o primeiro utilizado os valores das calibrações regionais, ou seja, os valores Fr de cada grupo de rodovia. O segundo modelo foi utilizado o fator de calibração obtido de toda a amostra, o C_x . Na tabela 5.9, constam os resultados obtidos do valor de Fr, calculado a partir da equação 18 apresentada na metodologia, com uma pequena diferença no somatório dos acidentes que para o cenário 2, considera por grupo de rodovia, conforme demonstrado abaixo:

$$C_x = \frac{\sum \text{elementos por rod, Acidentes observados}}{\sum \text{elementos por rod, Acidentes previstos}} \quad (34)$$

Já para o segundo cenário deste item, o cenário 3 deste projeto, o cálculo do fator de calibração da amostra, o C_x , seguiu o cálculo apresentado na equação 17, sendo que o resultado pode ser observado na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Resumo do números de acidentes previstos através do modelo original e Fator de calibração da amostra

Nprev	Nobs	Cx
3581,46	7274	2,03

Fonte: Autora.

Os valores do número de acidentes por segmento homogêneo durante o período do estudo podem ser observados no Apêndice E. Além do número de acidentes, estão apresentados os valores dos fatores de calibrações pontuais, chamados de Fp. Os fatores de calibração pontuais (Fp) por trecho homogêneo, fornecem uma informação sobre a variação da calibração ao longo dos trechos, indicando se o método original subestima ou superestima pontualmente o número de acidentes que são observados.

Aplicando os fatores de calibração regional por grupo de rodovia e por amostra total através da equação 33, foi encontrado o número previsto de acidentes por segmento homogêneo, também conhecido como TH. Em ambos os cenários, a quantidade total prevista calibrada de acidentes foi igual à quantidade observada, divergindo apenas na distribuição dos acidentes ao longo dos segmentos e no caso do cenário 3, do número previsto por amostra total, divergindo no acumulado por grupo de rodovia. O resumo dos acidentes observados, os acidentes previstos sem e com calibração do modelo, podem ser observados na Tabela 5.10. Os resultados por segmento homogêneos para a rodovia SC108 estão dispostos no Apêndice F. Os resultados completos de todos os THs da amostra estão apresentados no CD-ROM, disponível no apêndice I.

Tabela 5.10 - Número de acidentes previstos no modelo calibrado por grupo de rodovia/cenário 2 e por amostra total/cenário 3.

Rodovia	Nprevisto (Modelo Original)	Nobs	Nprevisto calibrado por grupo de rod (Fr) (Cenário 2)	Nprevisto calibrado por amostra total (Cx) (Cenário 3)
SC108	497,44	1648	1648	1455,77
SC110	85,89	257	257	253,63
SC114	248,10	805	805	745,26
SC135	160,52	536	536	426,48
SC155	80,36	188	188	230,22
SC157	91,18	220	220	289,15
SC160	61,99	203	203	187,75
SC283	267,71	758	758	912,23
SC305	48,15	192	192	148,54
SC350	250,71	842	842	707,94
SC355	65,93	259	259	208,38

SC390	231,70	655	655	779,51
SC486	166,90	370	370	436,62
SC480	98,58	234	234	358,63
SC464	34,89	20	20	40,85
SC150	13,67	87	87	93,03
Total	2403,73	7274,00	7274,00	7274,00

Fonte: Autora.

A calibração dos modelos do cenário 2 resultam em 16 equações distintas, sendo cada equação aplicável em sua respectiva rodovia. Neste trabalho não foi avaliado a transferibilidade dessas equações calibradas entre as rodovias da amostra. O desenvolvimento das equações também está condicionado à avaliação das medidas estatísticas de qualidade de ajustes aplicadas nos resultados obtidos.

A calibração do modelo do cenário 3 resultou em apenas um equação, pois neste caso, o fator de calibração regional implantado na nova função foi calculado considerando toda a amostra de rodovias do estudo. Enquanto que o cenário 3 reproduz uma única solução para o cálculo de modelo primitivo de todo universo analisado, o cenário 2 mais específico, fornece mais opções de modelo de acordo com a rodovia analisada.

5.5 MODELO REFINADO COM O MÉTODO EMPÍRICO DE BAYES – CENÁRIO 4 E 5

Conforme orientação do manual da AASHTO, foi realizada a aplicação do método empírico de Bayes por elemento individual em cada trecho homogêneo, tendo como referência o período de 2011 a 2014. As considerações e equações utilizadas no refinamento estão dispostas na Etapa 13 do item 3.10 da metodologia. O resumo dos valores alcançados dos acidentes por grupo de rodovia, nesta etapa chamados de esperados, estão apresentados na Tabela 5.11. Já os valores detalhados do refinamento, como o valor de w_i (peso do ajustamento na estimativa do modelo preditivo de acordo com o local i), o valor de km (parâmetro de dispersão) e os resultados de acidentes previstos por segmento homogêneo na SC108 podem ser observados no Apêndice G. Os resultados completos em todos os segmentos homogêneos está disponível em CD no apêndice I.

Também foram realizados dois cenários nesta etapa de refinamento de modelo, sendo o cenário 4 formado pela aplicação do método de Bayes com fatores calculados por grupo de rodovia, enquanto que o cenário 5

foi considerado o refinamento com fator único calculado a partir de toda amostra.

O número de acidentes esperados ao longo dos anos de 2011 a 2014 para todos os segmentos de rodovias da amostra, foram de 7261 e 7255 acidentes, para os cenários 4 e 5, respectivamente.

Tabela 5.11 - Resumo do número de acidentes esperados no período de 2011 a 2014 no modelo refinado de Bayes por rodovia/cenário 4 e por amostra total/cenário 5.

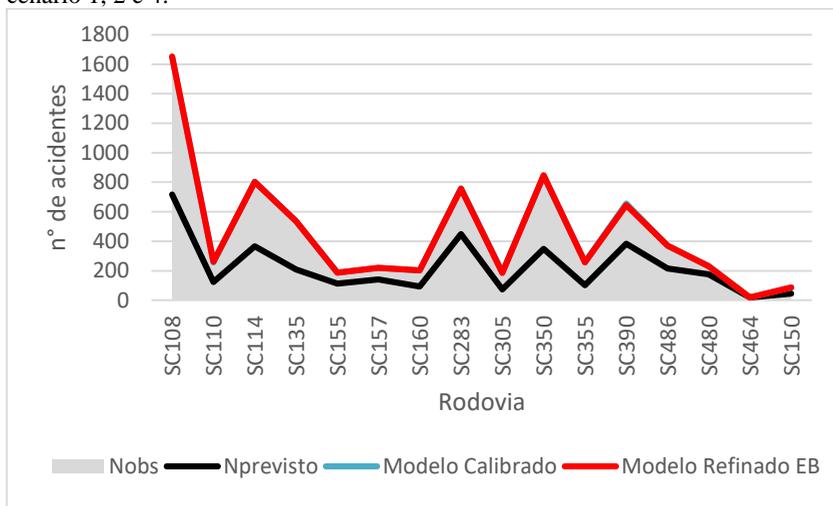
Rod.	N _{previsto}	N _{obs}	Modelo Calibrado		Modelo Refinado EB	
			N _{previsto calibrado por rodovia (Fr) (Cenário 2)}	N _{previsto calibrado por amostra total (Cx) (Cenário 3)}	N _{esperado_por rodovia (Cenário 4)}	N _{esperado_amos tra total (Cenário 5)}
SC108	497,44	1648	1648	1455,77	1652,36	1645,50
SC110	85,89	257	257	253,63	260,45	259,95
SC114	248,10	805	805	745,26	802,72	796,90
SC135	160,52	536	536	426,48	535,88	522,96
SC155	80,36	188	188	230,22	186,79	191,38
SC157	91,18	220	220	289,15	219,67	225,35
SC160	61,99	203	203	187,75	203,40	202,02
SC283	267,71	758	758	912,23	755,75	764,19
SC305	48,15	192	192	148,54	186,15	178,79
SC350	250,71	842	842	707,94	847,23	834,09
SC355	65,93	259	259	208,38	257,38	253,13
SC390	231,70	655	655	779,51	646,24	658,01
SC486	166,90	370	370	436,62	370,57	372,79
SC480	98,58	234	234	358,63	230,30	235,77
SC464	34,89	20	20	40,85	20,00	23,45
SC150	13,67	87	87	93,03	86,55	90,59
Total	2403,73	7274,00	7274,00	7274,00	7261,40	7254,87

Fonte: Autora.

Em ambos os cenários, os valores esperados de acidentes foram muito próximos dos valores observados, mostrando que o refinamento com o método empírico de Bayes aproxima mais as quantidades de ocorrências em função do comprimento do segmento analisado.

Para melhor visualizar os resultados dos cinco cenários desenvolvidos, foi realizado uma distribuição gráfica dos resultados obtidos nos diferentes modelos. A Figura 5.1 apresenta uma distribuição do número de acidentes observados, dos acidentes previstos e esperados de acordo com modelos desenvolvidos com fatores por rodovia. Pode-se observar que a quantidade de acidentes previstos pelo modelo calibrado, calibrado e acidentes observados são muito próximas, praticamente coincidindo em todos os pontos.

Figura 5.1 - Distribuição dos acidentes observados e previstos dos modelos do cenário 1, 2 e 4.

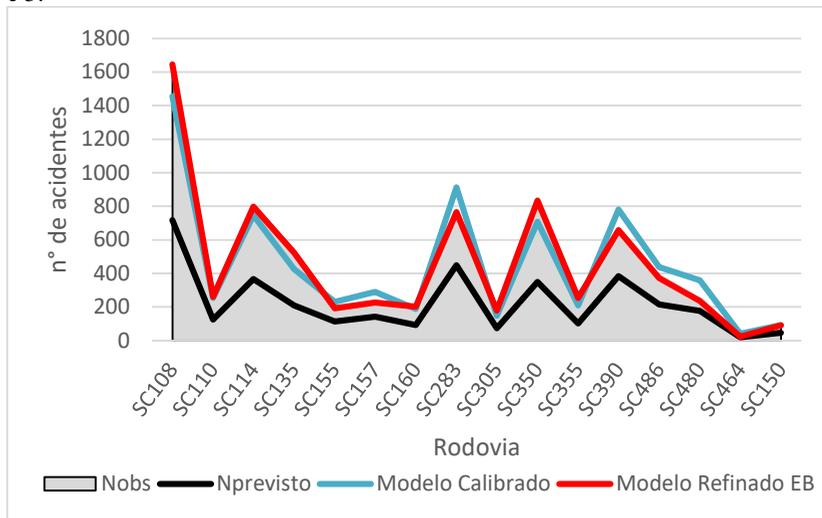


Fonte: Autora.

A Figura 5.2 apresenta uma distribuição gráfica do número de acidentes observados, dos acidentes previstos e esperados de acordo com os modelos desenvolvidos com o fator da amostra total. Neste caso, pode-se observar uma pequena diferença entre os valores previstos de acidentes entre o modelo calibrado e modelo calibrado + refinado, devido ao ajuste de calibração ter ocorrido na amostra que contém todas as rodovias do estudo e não apenas, um grupo distinto de apenas uma rodovia.

Após a obtenção dos resultados dos modelos, foi necessário a avaliar a qualidade de ajuste entre os resultados dos modelos obtidos com os dados reais, para assim, validar os resultados que até este item foram excelentes em grande parte dos modelos.

Figura 5.2 - Distribuição dos acidentes observados e previstos dos modelos 1, 3 e 5.



Fonte: Autora.

5.6 MEDIDAS DE QUALIDADE DE AJUSTE

5.6.1 Avaliação da correlação

Para realizar uma avaliação de correlação entre os números de acidentes previstos e observados em cada segmento, foi utilizada a técnica gráfica de regressão linear simples. Foi estimado o grau de ajuste ao conjunto de dados da reta de regressão, ou seja, verificado o quão bem a reta de regressão da amostra constituída do modelo sob análise se ajustou aos dados reais. Para isso, são apresentados os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e os coeficientes de correlação (R).

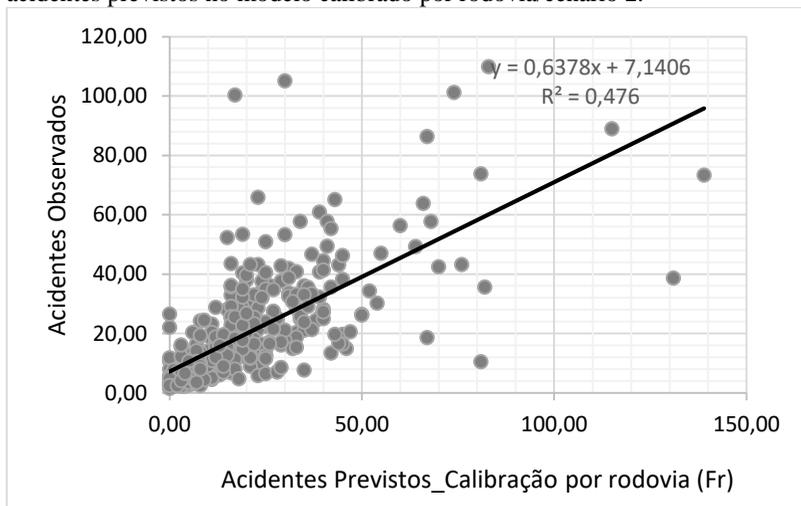
Como o modelo original apresentou resultados muito diferentes da realidade observada, este modelo não foi considerado na análise de correlação.

Para a interpretação dos resultados, foram utilizados como referência a seguinte faixa de valores para o R^2 :

- $R^2 > 0,6$: correlação forte;
- R^2 entre 0,30 e 0,60: correlação moderada;
- $R^2 < 0,30$: correlação fraca.

A Figura 5.3 apresenta a correlação entre os números de acidentes observados e previstos pelo modelo calibrado com fator por rodovia (Fr). O resultado do coeficiente de determinação R^2 para esta condição foi de 0,476 enquanto que o coeficiente de correlação R foi de 0,690. Pode-se perceber que não existe uma distribuição homogênea e constante, com vários valores afastados na reta de tendência desta correlação.

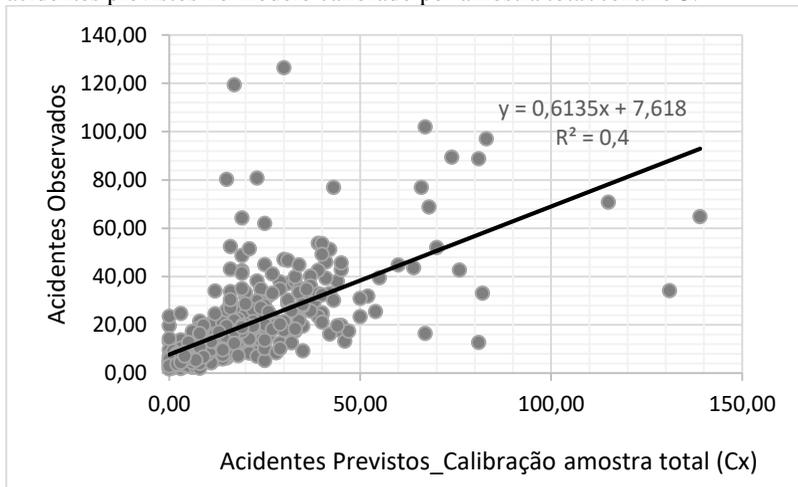
Figura 5.3 - Correlação entre o número de acidentes observados e o número de acidentes previstos no modelo calibrado por rodovia/cenário 2.



Fonte: Autora.

Avaliando a correlação pelo modelo calibrado com fator calculado a partir da amostra total, o valor alcançado do R^2 e R, foi de 0,40 e 0,632, respectivamente, menor que o apresentado no modelo anterior. Percebe-se que ambos os modelos se comportaram regularmente com a realidade dos segmentos. Os valores dos coeficientes de determinação e correlação expressam uma variabilidade entre os dados, mais ainda sim, as variáveis explicativas de entrada explicam satisfatoriamente a variável de resposta calculada. Cabe reforçar que o resultado deste indicador quanto mais próximo de 1, maior é a qualidade do ajustamento de uma linha de regressão, neste caso, melhor é aderência entre o modelo preditivo e a realidade local. Esta correlação pode ser observada na Figura 5.4.

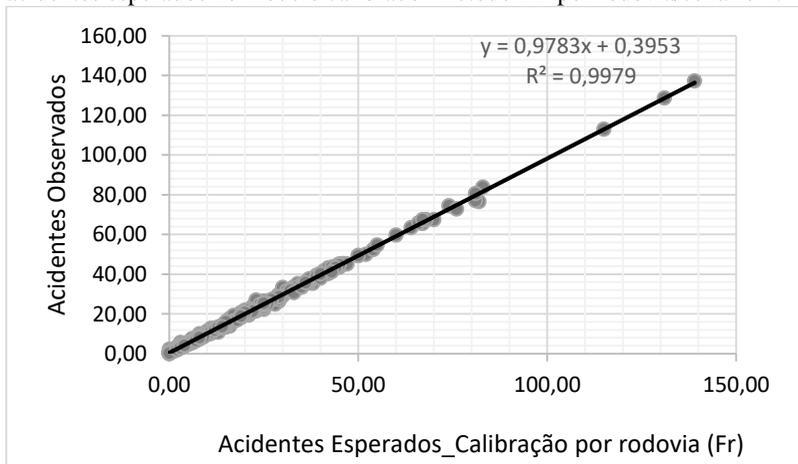
Figura 5.4 - Correlação entre o número de acidentes observados e o número de acidentes previstos no modelo calibrado por amostra total/cenário 3.



Fonte: Autora.

A correlação entre o número de acidentes observados e os esperados de acordo com modelo calibrado por rodovia alcançou um valor do R^2 de 0,9979 e do R de 0,9989. Na Figura 5.5 é apresentada a distribuição dos acidentes de toda a amostra sob a linha de tendência, demonstrando uma ótima aderência entre os valores reais e os calculados.

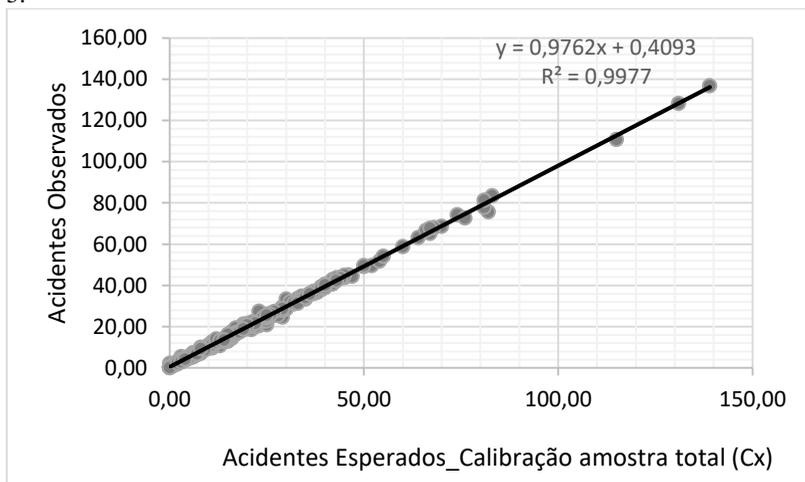
Figura 5.5 - Correlação entre o número de acidentes observados e o número de acidentes esperados no modelo calibrado+método EB por rodovia/cenário 4.



Fonte: Autora.

Por sua vez, a correlação entre os valores observados e os esperados através do modelo calibrado a partir de toda a amostra também apresentou uma ótima aderência, alcançando um valor de R^2 e de R , de 0,9977 e 0,9988, respectivamente. A distribuição dos valores que gerou uma linha de tendência sem pontos com grandes variações é apresentada na Figura 5.6.

Figura 5.6 - Correlação entre o número de acidentes observados e o número de acidentes esperados no modelo calibrado+método EB por amostra total/cenário 5.



Fonte: Autora.

Avaliando a medida de qualidade de ajuste da regressão linear simples, percebe-se que apenas os modelos preditivos que receberam o refinamento do método empírico de Bayes obtiveram uma ótima aderência, com valores apresentados muito próximo de 1. Os modelos preditivos calibrados regionalmente por rodovia e o modelo com fator calculado em relação a toda amostra, foram considerados com resultados moderados de acordo com a escala estipulada.

5.6.2 Avaliação do desvio médio absoluto

Para a interpretação dos resultados, foram utilizados como referência outros estudos de transferência de SPFs do HSM. Para uma melhor análise foram divididos os resultados dos estudos nos seguintes conceitos qualitativos:

- Insatisfatórios: (1) modelo calibrado do Cenário 1 e 2 do estudo de Waihrich (2016) com desvios de 7,81, 6,45 e 6,08, respectivamente.
- Satisfatórios: (1) modelo calibrado do Cenário 1 de Waihrich (2016) com desvio de 5,54; (2) modelo calibrado de Cunto et. al. (2015) com valores de 4,3 e 2,1; (3) modelo calibrado + método EB de Sacchi et. al. (2012) com desvio de 1,661.
- Excelentes: (1) modelo calibrado + método EB do Cenário 1 e 2 do estudo de Waihrich (2016) com desvios de 1,10, 1,90, 1,26 e 1,43; (2) modelo calibrado + método EB de Sacchi et. al. (2012) com desvio de 0,384.

Com base nos estudos realizados, definiu-se a seguinte faixa de valores para os resultados dos desvios:

- Insatisfatórios: $MAD > 5,00$
- Satisfatórios: $5,00 \leq MAD \leq 1,50$
- Excelentes: $MAD < 1,50$.

Nas Tabelas 5.12 e 5.13 são apresentados os resultados do desvio médio absoluto do modelo original, do modelo calibrado e do modelo calibrado com o refinamento de Bayes. Quanto maior a dispersão dos dados, maior foi o desvio médio calculado. Os resultados do MAD dos modelos desenvolvidos especificamente para cada rodovia da amostra, estão dispostos na Tabela 5.12.

No modelo original, os valores de desvios chegaram a alcançar índices de 14,70 na SC283 e 14,27 na SC108. Os modelos calibrados para as rodovias também apresentaram valores superiores, como por exemplo a SC283 que alcançou índice de 13,83. Apenas no modelo calibrado com a aplicação do método EB, os valores do MAD foram menores que 2,54 acidentes/TH, expressando um valor baixo com uma boa qualidade de ajuste do modelo.

Tabela 5.12 – Resultado do MAD nos modelos preditivos por rodovia e por amostra total

Rod.	Modelo Original (Cenário 1)	Modelo Calib. por rodovia (Fr) (Cenário 2)	Modelo Calib.+ Bayes por rodovia (Fr) (Cenário 4)
SC108	14,27	9,90	0,36
SC110	7,89	4,49	0,65
SC114	9,59	4,77	0,45
SC135	10,75	3,90	0,48
SC155	9,95	8,88	1,12
SC157	5,72	3,18	0,35
SC160	7,46	3,94	0,31
SC283	14,70	13,83	0,70
SC305	6,60	5,30	0,72
SC350	8,47	4,80	0,39
SC355	5,66	4,15	0,25
SC390	9,12	6,97	0,56
SC486	10,38	8,05	0,16
SC480	5,80	7,31	0,36
SC464	0,77	0,00	0,00
SC150	3,54	2,11	2,54

Fonte: Autora

Avaliando a medida MAD nos modelos desenvolvidos para toda a amostra de rodovia, o resultado alcançado no modelo com a aplicação do método EB foi de 0,55 acidentes/TH. Os outros modelos apresentaram desvios com valores acima de 7 acidentes (Tabela 5.13).

Tabela 5.13 - Resultado do MAD nos modelos preditivos por amostra

Amostra total	Modelo Original (Cenário 1)	Modelo Calib. por amostra total (Cx) (Cenário 3)	Modelo Calib.+Bayes por amostra total (Cx) (Cenário 5)
	10,23	7,73	0,55

Fonte: Autora.

5.6.3 Avaliação do erro percentual absoluto médio – MAPE

Para a interpretação dos resultados, foram utilizados como referência outros estudos de transferência de SPFs do HSM (AASHTO, 2010). Para uma melhor análise foram divididos os resultados dos estudos nos seguintes conceitos qualitativos:

- Insatisfatórios: (1) modelo calibrado do Cenário 1 e 2 do estudo de Waihrich (2016) com valor de 66,31% e 68,31%, respectivamente.

- Satisfatórios: (1) modelo calibrado do Cenário 1 de Waihrich (2016) com valor de 41,43%; (2) modelos de Cunto et. al. (2015) com valores variando de 17% a 53%.
- Excelentes: (1) modelo calibrado + método EB do Cenário 1 e 2 do estudo de Waihrich (2016) com valor de 8,96% /15,67% e 10,47% / 15,21%, respectivamente.

Com base nos estudos realizados, definiu-se a seguinte faixa de valores para os resultados dos desvios:

- Insatisfatórios: $MAPE > 40\%$
- Satisfatórios: $40\% \leq MAPE \leq 15\%$
- Excelentes: $MAPE < 15\%$.

Na Tabela 5.14 são apresentados os resultados do erro percentual dos modelos desenvolvidos por rodovia. No modelo original, o resultados em geral foram insatisfatórios, com uma média de erro foi de 55,09%, acima do limite superior da faixa dos resultados satisfatórios. Analisando pontualmente, apenas duas rodovias apresentaram um valor de MAPE abaixo de 40%. Em relação ao modelo calibrado, a média alcançada de todas as rodovias alcançou 49,36% com apenas 4 rodovias abaixo do limite inferior da faixa satisfatória. O modelo com o refinamento de Bayes apresentou todos os valores de MAPE na faixa excelente, com um média das rodovias entre si de 5,72%.

Tabela 5.14 - Resultado do MAPE nos modelos preditivos por rodovia

Rod.	Modelo Original por rodovia (Cenário 1)	Modelo Calib. por rodovia (Fr) (Cenário 2)	Modelo Calib. + Bayes por rodovia (Fr) (Cenário 4)
SC108	63,56%	84,87%	5,51%
SC110	54,80%	58,46%	12,04%
SC114	8,46%	6,67%	0,73%
SC135	65,60%	46,42%	5,28%
SC155	65,40%	79,58%	9,23%
SC157	49,97%	34,52%	3,45%
SC160	60,74%	56,52%	4,32%
SC283	53,06%	58,43%	3,17%
SC305	75,51%	39,58%	5,41%
SC350	63,40%	56,09%	6,28%
SC355	73,34%	40,24%	2,65%
SC390	56,60%	73,27%	8,43%
SC486	43,93%	39,56%	1,36%
SC480	56,01%	79,87%	4,12%
SC464	31,34%	0,02%	0,01%
SC150	59,67%	35,62%	19,46%

Fonte: Autora.

Os resultados da medida de ajuste MAPE para os modelos desenvolvidos considerando a amostra de todas as rodovias podem ser observados na tabela 5.15. Os resultados para o os modelos original e calibrado foram insatisfatórios enquanto que para o que recebeu o refinamento do método de Bayes, recebeu um valor excelente.

Tabela 5.15 - Resultado do MAPE nos modelos preditivos por amostra total

Amostra total	Modelo Original por rodovia (Cenário 1)	Modelo Calib. por amostra total (Cx) (Cenário 3)	Modelo Calib. +Bayes por amostra total (Cx) (Cenário 5)
	60,35%	61,47%	6,10%

Fonte: Autora.

5.6.4 Avaliação do R²-Efron

Para a interpretação dos resultados, foram utilizados como referência outros estudos de transferência de SPFs do HSM (AASHTO, 2010). Para uma melhor análise foram divididos os resultados dos estudos nos seguintes conceitos qualitativos:

- Satisfatórios: (1) modelo calibrado do Cenário 1 e 2 de Waihrich (2016) com valor de 0,69 / 0,53 e 0,46 / 0,53, respectivamente.
- Excelentes: (1) modelo calibrado + método EB do Cenário 1 e 2 do estudo de Waihrich (2016) com valor de 0,99 / 0,97 e 0,98 / 0,97, respectivamente.

Com base nos estudos realizados, definiu-se a seguinte faixa de valores para os resultados dos desvios:

- Insatisfatórios: $R^2_{\text{efron}} < 0,50$
- Satisfatórios: $0,90 \leq R^2_{\text{efron}} \leq 0,50$
- Excelentes: $R^2_{\text{efron}} > 0,90$

Os resultados da medida de qualidade para o modelo original desenvolvido para cada rodovia apresentaram resultados insatisfatórios, sendo que apenas uma rodovia, a SC464, apresentou resultado excelente. Esta por sua vez, obteve valores excelentes em todos os modelos. No modelo calibrado por rodovia, 8 rodovias alcançaram resultados insatisfatórios, 6 satisfatórias e 2 excelentes, neste último caso, as rodovias SC464 e SC135. Em relação ao modelo calibrado + EB por rodovia, apenas a SC150 não alcançou resultados da faixa excelente, porém, foi considerada com resultado satisfatório. Os resultados por modelo e por rodovia podem estar apresentados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 - Resultado do R²-Efron nos modelos preditivos por rodovia

Rod.	Modelo Original (Cenário 1)	Modelo Calibrado por rodovia (Fr) (Cenário 2)	Modelo Calibrado+ Bayes por rodovia (Fr) (Cenário 4)
SC108	-0,237	0,401	0,999
SC110	0,058	0,700	0,995
SC114	-0,484	0,579	0,995
SC135	-0,007	0,874	0,999
SC155	0,126	0,322	0,991
SC157	0,025	0,695	0,996
SC160	-0,356	0,647	0,998
SC283	-0,585	-0,374	0,996
SC305	-1,977	-0,150	0,979
SC350	-0,375	0,574	0,997
SC355	-1,208	0,282	0,997
SC390	-0,185	-0,121	0,995
SC486	0,080	0,406	0,999
SC480	-0,474	-0,779	0,995
SC464	-1,650	1,000	1,000
SC150	-0,893	0,480	0,632

Fonte: Autora.

Em relação aos valores alcançados para toda a amostra do estudo, apenas o modelo calibrado com o refinamento de Bayes obteve resultado excelente. Os outros modelos preditivos obtiveram resultados dentro da faixa insatisfatória, como pode ser visualizado na tabela 5.18.

Tabela 5.17 - Resultado do R²-Efron nos modelos preditivos por amostra total.

Amostra total	Modelo Original por rodovia (Cenário 1)	Modelo Calib. por amostra total (Cx) (Cenário 3)	Modelo Calib. +Bayes por amostra total (Cx) (Cenário 5)
	0,095	0,286	0,997

Fonte: Autora.

5.6.5 Avaliação do Pearson χ^2

Foram consideradas 68 categorias de acidentes para o desenvolvimento do valor de χ^2 , sendo que segmentos foram agrupados conforme o número de acidentes. O valor do chi-quadrado obtido nos modelos desenvolvidos para toda amostra, foram os seguintes:

- Modelo original com χ^2 igual a 773,123;

- Modelo calibrado com χ^2 igual a 148,353;
- Modelo calibrado com método empírico de Bayes com χ^2 igual a 32,006.

Considerando um nível de significância de 0,05 e 66 graus de liberdade, o valor de χ^2 tabelado encontrado foi igual a 85,952.

Pela análise da aderência de valores entre o número de acidentes observados e previstos/esperados, apenas o modelo calibrado com adição do método empírico de Bayes possui uma boa associação e distribuição de dados com os dados reais. Assim, a hipótese do modelo de previsão de acidentes calibrado e refinado com o método empírico de Bayes para as rodovias de SC representar a realidade é aceite/válido.

Não foi realizado a avaliação nos modelos dos cenários 2 e 4 devido ao número de segmentos de algumas rodovias, como por exemplo, a SC150 e a SC305, com 7 e 9 trechos, respectivamente. O número de categorias seria muito pequeno devido a quantidades de segmentos pequenas que ainda seriam agrupadas. A escala de agrupamento dos segmentos poderia ser modificada, porém, seria diferente da utilizada nos cenários 1, 3 e 5, gerando comparações de resultados de agrupamentos diferentes.

Como o cenário 5 foi o que apresentou melhores resultados em todos os testes estatísticos, foi desenvolvida a SPF em função deste modelo como será apresentado no item 5.7.

5.7 SAFETY PERFORMANCE FUNCTION PARA A AMOSTRA

É apresentada abaixo a equação calibrada deste trabalho, com a função de desempenho de segurança, a SPF, desenvolvida a partir do modelo do cenário 5, para todo universo analisado. Para efeito comparativo, a primeira equação é a original do modelo do HSM, correspondente a equação de número 35, enquanto a de número 36 corresponde a equação para toda a amostra do estudo.

$$N_{SPFRs} = VDMA \times \frac{L}{1,609} \times 365 \times 10^{-6} \times e^{-0,312} \quad (35)$$

$$N_{SPFRs} = VDMA \times \frac{L}{1,609} \times 365 \times 10^{-6} \times e^{0,6566} \quad (36)$$

6 CONCLUSÕES

Antes do desenvolvimento de modelos preditivos e da verificação da transferibilidade do método americano HSM para as rodovias catarinenses, foi realizada uma revisão bibliográfica do tipo sistemática, a fim de se buscar e analisar os estudos publicados disponíveis na área dos modelos de previsão de acidentes. Assim, foi possível verificar as publicações e seus respectivos resultados alcançados, enriquecendo ainda mais o objetivo e justificativa de desenvolvimento desta dissertação.

Através dos resultados obtidos neste estudo foi constatado que é possível realizar a transferência da metodologia americana de previsão de acidentes de trânsito da AASHTO através do HSM para a amostra de rodovias rurais catarinenses de pista simples. Os resultados dos modelos foram separados em 5 cenários para um melhor detalhamento e análise dos valores obtidos, sendo o cenário 1 composto pelo método original, o 2 e 3 pelo modelo calibrado e o 4 e 5 pelo modelo calibrado e refinado com o método empírico de Bayes.

Conforme orienta o manual, como a amostra apresenta condições diferentes das 'rodovias bases' consideradas na metodologia americana, foi realizado a calibração regional em função das características físicas e operacionais dos elementos individuais selecionados para o estudo. Os resultados obtidos acumulados com a calibração foram considerados excelentes, pois o resultado final do número de acidentes previstos expressou igualmente o número de acidentes observados.

Ao realizar a calibração com o refinamento do método empírico de Bayes foi observado uma maior aderência entre o número de acidentes observados e os acidentes esperados, quando avaliado pontualmente. Essa aderência levou em consideração nesta etapa o comprimento dos segmentos, calculando os acidentes em função de todas as variáveis físicas e operacionais, porém, ajustando os resultados de acordo com a extensão do elemento individual analisado.

Apesar do manual HSM orientar que para a calibração do modelo preditivo de acidentes a amostra mínima deveria ser de 30 a 50 segmentos, foi analisado de forma exploratória, o desenvolvimento e a transferência de modelos específicos para grupos de rodovias que constituíram toda a amostra. Algumas rodovias selecionadas possuíam trechos que somados eram inferiores à orientação mínima da AASHTO, porém, observou-se que é possível realizar a transferência do modelo americano para essas rodovias com algumas restrições. Neste trabalho não foi realizado o desenvolvimento de equações específicas para os grupos de rodovias, apenas verificada a transferência do método americano, desenvolvido

modelos e observada de forma exploratória, a adoção de uma amostra inferior à apresentada no manual do HSM.

O intuito de desenvolver um modelo contendo toda a amostra inicialmente selecionada resultou em apenas uma equação geral preditiva, facilitando o cálculo e aplicação da função em todos os trechos de rodovias do estudo e de todos aqueles que possuem características semelhantes.

Foram aplicados testes de qualidade de ajustes para verificar a confiabilidade, dispersão e variância dos números obtidos em relação ao método e aos valores observados. Os testes aplicados foram análise gráfica e coeficiente de correlação, MAD, MAPE, R^2 -Efron e X^2 -Pearson, sendo que alguns dos testes não foram aplicados no modelo original devido a grande diferença de acidentes observados e previstos com este modelo. Os testes aplicados no modelo calibrado, neste caso, no cenário 2 de calibração para cada rodovia do estudo, mostraram resultados satisfatórios e excelentes em algumas rodovias. De uma forma global, a medida de correção obteve um resultado moderado. Já os testes aplicados no modelo desenvolvido para toda a amostra, o do cenário 3, apresentaram valores insatisfatórios para todas as medidas de qualidade de ajustes exceto para a correlação, que apresentou valores moderados.

Em relação aos resultados das medidas aplicadas ao cenário 4, neste caso, no modelo preditivo calibrado e refinado com Bayes por rodovia, os valores alcançados foram considerados excelentes. Apenas a SC-150 apresentou resultados satisfatórios nas medidas de qualidade de ajuste. Por ter sido modelada uma quantidade de segmentos muitos inferiores ao limite mínimo orientado pela AASHTO, algumas rodovias possuíram valores mais dispersos. Com uma amostra maior nestes casos, seria possível utilizar as equações individuais para essas rodovias. Os resultados alcançados com o modelo calibrado e refinado com Bayes para a amostra total, o cenário 5, apresentou resultados excelentes em todas as medidas aplicadas. Neste caso, pode-se concluir que o método que se ajustou e aderiu melhor às condições reais foi o do 4 e o do cenário 5. O cenário 2 também apresentou bons resultados para algumas rodovias, porém a utilização desses modelos deve ser utilizado com algumas restrições, destacando o caso das rodovias que obtiveram resultados com maiores variações.

Dentre os cenários 2, 4 e 5, como o modelo preditivo do cenário 5 foi o que obteve melhores resultados, foi desenvolvida a nova SPF para o universo analisado de acordo com os resultados deste modelo.

Foi possível concluir que é possível realizar a transferência da metodologia americana da AASHTO através do HSM, para as rodovias

rurais de pista simples do Estado de Santa Catarina. Os resultados globais obtidos durante o desenvolvimento, aplicação e os valores da calibração, foram de satisfatórios a excelentes.

Por fim, espera-se que este trabalho se torne uma ferramenta que auxilie os gestores públicos na tomada de decisão em frente a priorização de melhorias nos trechos com maior ocorrência de acidentes. Será possível com os resultados obtidos, realizar avaliações econômicas considerando os benefícios diretos e indiretos que o tratamento dos locais críticos podem receber. Também conclui-se que este trabalho possibilite impulsionar ainda mais o desenvolvimento de novos projetos e estudos voltados ao tema de gerenciamento de segurança viária, mais especificamente aos modelos de previsão de acidentes. A partir da pesquisa realizada, esse foi o primeiro trabalho desenvolvido em Santa Catarina com o tema de modelos preditivos e o segundo em esfera nacional a trabalhar com rodovias de pista simples estaduais. Novos modelos de previsão, utilizando metodologias distintas, ainda podem ser desenvolvidos e verificados qual se aproxima mais da realidade e dos dados observados de campo.

6.1 LIMITAÇÕES E DIFICULDADES

No decorrer do desenvolvimento do trabalho de pesquisa, ocorrem algumas limitações relacionadas ao banco de dados completo e necessário à aplicação do método preditivo do HSM. Inicialmente, o período de dados do trabalho seria de 2010 a 2016, porém, para o ano de 2015 e 2016 não haviam dados de volume de tráfego disponíveis. Para o ano de 2010 foram disponibilizados dados operacionais, porém, em muitos elementos individuais selecionados, não haviam registros de dados. Desta forma, como os anos de 2011 a 2014 possuíam dados disponíveis para vários elementos constituintes da amostra, o período inicial de 6 anos foi diminuído para 4 anos, atendendo ainda assim as orientações mínimas da AASHTO (2014).

Como não haviam informações referentes ao trechos com iluminação existente e não deficiente na rodovia, para este fator de modificação de acidente foi utilizado o valor de 1,0, sendo considerado portanto, que todos os segmentos do estudo não possuíam iluminação. Apesar da falta desta informação percebeu-se que a modificação deste dado em relação as 12 variáveis utilizadas nos fatores de modificação, não traria alterações significativas aos resultados finais da calibração.

Por fim, pode-se concluir que uma das grandes limitações que trabalhos como este podem sofrer é referente aos dados completos e

confiáveis. Para a aplicação das funções de desempenho de segurança é necessário realizar um tratamento com dados completos e fidedignos dos diferentes elementos viários a serem trabalhados, principalmente dos dados de acidentes de trânsito e volume de tráfego.

Uma das maiores dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do projeto foi a delimitação da amostra do estudo. A ideia inicial era utilizar todas as rodovias catarinenses de pistas simples. Devido à grande extensão e diversidade de características e classificações das rodovias catarinenses, foi realizado um novo filtro e delimitado a amostra em rodovias rurais catarinenses de pista simples e com revestimento asfáltico. Dentro desta delimitação foram desconsiderados os segmentos com interseções, faixas adicionais, trechos considerados urbanos, faixas de conversão à esquerda, locais com presenças de rotatórias e redutores físicos de estímulo a redução de velocidade. Como não haviam informações prontas disponíveis de todos os segmentos que possuíam essas características supracitadas, a separação da amostra em trechos homogêneos teve que ser concluída com o auxílio do software Google Earth. Foram selecionados os segmentos de rodovias e verificados com a ferramenta *street view* a nova delimitação dos trechos homogêneos. Como em 2011 houve mudança de nomenclatura de algumas rodovias, para a identificação dos segmentos de rodovias foi utilizada a tabela de conversão de nomenclaturas e identificados os locais com o cadastro de referências fornecido pelo DEINFRA/SC.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma das sugestões para trabalhos futuros, é realizar a separação da amostra do estudos em grupos. Esses grupos devem ser compostos e divididos pelas características das 12 variáveis dos fatores de modificação de acidentes. Assim irá se obter equações específicas para determinadas condições físicas das rodovias. No final, poderá se obter uma equação única para toda a amostra e equações específicas para grupos de segmentos homogêneos específicos.

Também é possível realizar a modelagem preditiva considerando trechos homogêneos de rodovias que possuem faixas de conversão à esquerda e faixa adicional destinada a ultrapassagem. Segmentos com essas características não foram considerados neste estudo. Ainda, de forma exploratória, pode-se considerar no estudos de modelos a inclusão de segmentos com retornos em nível e desnível.

Abaixo seguem mais algumas sugestões que podem ser aplicadas no desenvolvimento de trabalhos futuros ligados a modelos preditivos de acidentes de trânsito:

- Testar as equações obtidas neste estudo em outras rodovias não selecionadas do trabalho;
- Aplicar o modelo calibrado nesta dissertação em outros segmentos rodoviários do Brasil, a fim de verificar a transferibilidade e a avaliar o ajuste do modelo em uma amostra diferente.
- De forma exploratória, avaliar a inclusão de outras características físicas e operacionais nos fatores de modificação de acidentes, como a porcentagem de caminhões/veículos pesados sobre a via.

REFERÊNCIAS

- AASHTO. **Highway Safety Manual**. American Association of State Highway and Transportation Officials. 1st. Edition, Washington, D.C. 2010.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10697 - **Pesquisa de Acidentes de Trânsito**. São Paulo, 1989.
- ALLURI, P.; SAHA, D.; GAN, A. **Minimum Sample Sizes for Estimating Reliable Highway Safety Manual (HSM) Calibration Factors**. Journal of Transportation Safety & Security 8 (1), pp. 56-74. 2016
- BANIHASHEMI, M. Highway Safety Manual, new model parameters vs. calibration of crash prediction models. *In*: Compendium of the 90th Annual Meeting of the Transportation. Washington, DC. Transportation Research Board, 2011. Disponível em: <https://trid.trb.org/view.aspx?id=1091835>. Acesso em: 20 mar. 2016
- BIOLCHINI, J. ; MIAN, P. G. ; NATALI, A. C. C. ; TRAVASSOS, G. H. **Systematic Review in Software Engineering**. Technical Report. Systems Engineering and Computer Science Department. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005. 31 p. Disponível em: <http://www.cin.ufpe.br/~in1037/leitura/systematicReviewSE-COPPE.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2016.
- BOFFO, G. H. **Formatos e técnicas de modelos de previsão de acidentes de trânsito**. 2011. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/31414>. Acesso em: 15 fev. 2016.
- CARDOSO, G. **Modelos para previsão de acidentes de trânsito em vias arteriais urbanas**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/8234>. Acesso em: 20 fev. 2016.

CARDOSO, G. ; GOLDNER, L. G. . **Desenvolvimento e aplicação de modelos para previsão de acidentes de trânsito.** Transportes (Rio de Janeiro), v. 1, p. 1-12, 2007. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/35>. Acesso em: 20 fev. 2016.

CHAGAS, D. M. **Estudo sobre fatores contribuintes de acidentes de trânsito urbano.** 2011. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)-Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível:<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/32553/000786219.pdf?sequence=1>. Acesso em: 25jul. 2014.

CLAUDE, G. F. de M. **Previsão da ocorrência de acidentes de trânsito em interseções de vias arteriais urbanas: o caso de Taguatinga/DF.** 2012. xii, 171 f. Dissertação (Mestrado em Transportes)—Universidade de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/11487>. Acesso em: 15 mar. 2016.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. da S. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. *In: 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto-CBGDP 2011.* Porto Alegre, RS, 2011. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/cbgdp2011/downloads/9149.pdf>. Acesso em 19 mar. 2016.

COSTA, T. G.; BARBOSA, H. M. Avaliação da transferibilidade de modelos de previsão de acidentes para vias urbanas em Belo Horizonte. *In: XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET 2014.* Curitiba, PR, 2014.

COSTA, J. O.; JACQUES, M. A. P.; FREITAS, E. F.; PEREIRA, P. A. A. **Acidentes rodoviários do tipo colisões nas estradas nacionais na região do Miinho: modelos de previsão para segmentos rodoviários.** Universidade do Minho. Azurém, Portugal. 10p. 2013. Disponível em: http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/26158/1/Artigo_7C_RP_26.pdf. Acesso em: 18 mar. 2016.

CUNTO, F. J. C.; CASTRO NETO, M. M. de.; BARREIRA, D. S. **Modelos de previsão de acidentes de trânsito em interseções semaforizadas de Fortaleza.** Revista Transportes. v. 20, n.2, 2012.

Disponível em: <http://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/558>.

CUNTO, F. J. C.; NODARI, C. T.; BARBOSA, H. M. Transferência de modelos de previsão de acidentes entre cidades brasileiras. *In: XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET 2013*. Belém, RN, 2013.

DATASUS - Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. **Ministério da Saúde. Dados de acidentes**. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?sim/cnv/pext10uf.def>. Acesso em 16 mar. 2016.

DEINFRA - DEPARTAMENTO ESTADUAL DE INFRAESTRUTURA DE SANTA CATARINA. **Mapa rodoviário 2016**. Disponível em: http://www.deinfra.sc.gov.br/jsp/informacoes_sociedade/downloadMapas.jsp. Acesso em: 8 maio 2016.

DENATRAN. **Frota de veículos**. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/frota.htm>. Acesso em: 16 mar. 2017

DNIT -DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA TERRESTRE. **Sistema Nacional de Viação**. Atualização de 30/03/2015. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/snv-2014-1>. Acesso em: 19 mar. 2016.

DNT- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA TERRESTRE, UFSC – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Restituídor de traçado as built de rodovias a partir de dados geográficos**. Maio/2009. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodoviaras/convenios-com-a-ufsc/convenio-00562007-p2-produto-complementar-2.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2016.

DUARTE, R. M. S. **Aplicação do Método de Previsão de Acidentes do Highway Safety Manual em Interseções do Meio Urbano**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil), Universidade do Porto, Portugal, 2012. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/65139>. Acesso em: 18 mar. 2016.

FARID, A.; ABDEL-ATY, M.; LEE, J.; ELURU, N.; WANG, J. **Exploring the transferability of safety performance functions.** v.94, p. 143-152, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457516301440>. Acesso em: 08 set. 2016.

FERRAZ, A. C. P.; RAIA JUNIOR, A. A.; BEZERRA, B. S.; BASTOS, J. T.; SILVA, K. C. R. **Segurança Viária.** São Carlos, SP: Suprema Gráfica e Editora, 2012.

FRAMARIM, C. da S. **Procedimento para monitorar medidas voltadas à redução dos acidentes no sistema viário.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: [http:// http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2240/000366378.pdf](http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2240/000366378.pdf). Acesso em: 05 set. 2016.

GOLD, P. A. **Segurança de Trânsito: aplicações de engenharia para reduzir acidentes.** BID. Washington, DC, 1998. 211p.

GOMES, M. J. T. L.; TORRES, C. A.; OLIVEIRA NETO, F. M. de.; CUNTO, F. J. C. Análise exploratória para a modelagem da frequência de acidentes de trânsito agregados ao nível de zonas de tráfego. *In: XXVIII ANPET.* Curitiba, PR. 2014.

HAUER, E. **Observational Before-After Studies in Road Safety.** Pergamon Press, Elsevier Science Ltd., Oxford, England. 1997.

IBGE. **Banco de Dados Estado de Santa Catarina.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=sc>. Acesso em: 16 mar. 2017.

KAUB & Associates. Intersection & Roundabout Annual Accident Prediction with Conflict Opportunity Theory, Algorithms, Example & Validation - *Traffic Safety Software, LLLC - TRAF-Safe Architecture, Function & Validation,* 2006. Disponível em: www.trafficsafetysoftware.com.

LEVI, Y.; ELLIS, T.J. **A system approach to conduct an effective literature review in support of information systems research.**

Informing Science Journal, v.9, p.181-212, 2006. Disponível em: <http://www.inform.nu/Articles/Vol9/V9p181-212Levy99.pdf>.

MING, S. H. **Oportunidades de conflito de tráfego: Modelos de Previsão**. 2008. 315p. Dissertação (Mestrado em Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde.../SunHsienMing.pdf.

NODARI, C. T. **Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples**. 2003. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3675>. Acesso em: 18 mar. 2016.

ONSV – OBSERVATÓRIO NACIONAL DE SEGURANÇA VIÁRIA.

OLIVEIRA, C. M. de. **Aprimorando a sustentabilidade da logística por meio da gestão da operação do transporte de carga**. Exame de qualificação de doutorado em Engenharia de Transportes, Programa de Pós Graduação de Engenharia de Transportes, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2015.

PAHO - PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION. **Regional Status Report on Alcohol and Health in the Americas**. Washington, DC: 2015. Disponível em: http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=11108%3A2015-regional-report-alcohol-health&catid=1893%3Anews&Itemid=41530&lang=en. Acesso em: 05 set. 2016.

PARK, J.; ANDEL-ATY, M. **Development of adjustment functions to assess combined safety effects of multiple treatments on rural two-lane roadways**. Accident Analysis and Prevention. Volume 75, p. 310-319. 2015. Disponível em: www.scopus.com.br. Acesso em: 21 maio 2016.

SABEY, B. E.; STAUGHTON, G. C. **Interacting Roles of Road Environment, Vehicle and Road Users in Accidents**. Paper presented at the 5th International Conference of the International Association for Accident and Traffic Medicine. Londres, 1975.

SACCHI, E.; PERSAUD, B.; BASSANI, M. Assessing International Transferability of the Highway Safety Manual Crash Prediction Algorithm and its Components. *In: Proceedings of the 91st Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington DC, .1-9. 2012.*

SAITO, M.; KNECHT, C. S.; SCHULTZ, G. G.; COOK, A. A. **Crash prediction modeling for curved segments or rural two-lane two-way highways in Utah.** Utah Department of Transportation Traffic & Safety, Research Divisions. Report n. UT-15.12, 83p. Utah, 2015.

SAITO, M. *et. al.* Transportation Safety Data and Analysis, Volume 2: **Calibration of the Highway Safety Manual and Development of New Safety Performance Functions.** Utah Department of Transportation Traffic & Safety, Research Divisions. Report UT-10.12b. 94p. Salt Lake City, Utah, 2011.

SAHA, D.; ALLURI, S.; GAN, A. **Prioritizing Highway Safety Manual's crash prediction variables using boosted regression trees.** Accident Analysis and prevention. n° 79, p. 133-144. 2015. Disponível em:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457515000858>.
Acesso em 08 set. 2016.

SCARINGELLA Trânsito. **Investigação de Causas de Acidentes de Trânsito.** Estudo de amostra de acidentes. Disponível em:
<https://www.scaringella-transito.com.br/scaringella.html>.

SCETAURROUTE & PROSUL. **A Malha Rodoviária Atual do PDR/SC.** Volume III.2, 2008. Disponível em:
http://www.deinfra.sc.gov.br/jsp/relatorios_documentos/plano_rodoviario/download/Volume_III.2_A_Malha_Rodoviaria_Atual_do_PDRSC.pdf. Acesso em: 30 jun. 2016.

SILVA, K. C. R. **Aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM em rodovias de pista simples do Estado de São Paulo.** 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18144/tde-15022012.../Karla.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2016.

SHIRAZI, M.; DOMINIQUE, L.; GEEDIPALLY, S. R. **Sample-size guidelines for recalibrating crash prediction models: Recommendations for the Highway Safety Manual**. Accident Analysis & Prevention. Volume 93, August 2016, p. 160–168. Disponível em: https://ceprofs.civil.tamu.edu/dlord/Papers/Shirazi_et_al_Sample_Size.pdf. Acesso em: 18 maio 2016.

SUN, X.; LI, Y.; MAGRI, D.; SHIRAZI, H. Application of Highway Safety Manual Draft Chapter: Louisiana Experience. Transportation Research record, 1950, 55-64. 2006.

TREAT, J. R. ; TUMBAS, N. S. ; MCDONALD, S. T. ; SHINAR, D.; HUME, R. D.; MAYER, R.E.; STANISFER, R. L.; CASTELLAN, N. J. Tri-Level Study of the Causes of Traffic Accidents. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration. 1979.

WAIHRICH, D. R. L. da S. **Calibração do método de previsão de acidentes do *Highway Safety Manual* (HSM) para trechos rodoviários de pista dupla do Brasil**. 2016. 148f. Dissertação (Mestrado em Transportes) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, 2016. Disponível em: <http://www.transportes.unb.br/downloads/dissertacoes/006-2016.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2016.

WASELFISZ, Julio Jacobo. **Mapa da Violência 2014**. Os Jovens do Brasil. Brasília, 2014 - pag. 77 a 112. Disponível em: <http://www.mapadaviolencia.org.br/>. Acesso em 16 mar. 2016.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global status report on road safety 2015**. Disponível em: http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/. Acesso em: 16 mar. 2016.

WIERWILLE, W. et al. Identification of Driver Errors: Overview and Recommendations. Report No. FHWA-RD-02-003. USA, 2002.

WILLIAMSON, M.; ZHOU, H. Develop calibration factors for crash prediction models for rural two-lane roadways in Illinois. *In*: 8th International Conference on Traffic and Transportation Studies Changsha, China, August 1–3, 2012. Disponível em: http://ac.els-cdn.com/S1877042812009871/1-s2.0-S1877042812009871-main.pdf?_tid=4de1f430-1cf2-11e6-82b7-0000aacb35d&acdnat=1463573949_f53a5e2210ca3e56687a954ce561de59. Acesso em: 18 maio 2016.

XIE, F.; GLADHILL, K.; DIXON, K.; MONSERE, C. Calibrating the Highway Safety Manual predictive models for Oregon State Highways. *In: Compendium of the Transportation Research Board 90th Annual Meeting*. Washington, DC. Transportation Research Board, 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE A – SEGMENTOS HOMOGÊNEOS DA AMOSTRA

Rodovia	Seg.	km Inicial	km Final	Ext. (km)	Rodovia	Seg.	km Inicial	km Final	Ext. (km)	Rodovia	Seg.	km Inicial	km Final	Ext. (km)
SC108	1	38,400	40,090	1,69	SC135	125	33,600	38,300	4,70	SC350	249	292,350	296,250	3,90
	2	40,420	41,170	0,75		126	38,300	44,300	6,00		250	296,350	297,950	1,40
	3	41,400	43,960	2,56		127	44,300	50,200	5,90		251	297,950	298,800	
	4	43,960	44,360	0,40		128	51,300	63,500	12,20		252	335,209	340,250	5,04
	5	44,460	45,480	1,02		129	63,900	66,300	2,40		253	340,550	342,100	1,55
	6	54,800	55,400	0,60		130	66,300	69,250	2,95		254	342,100	346,000	3,90
	7	55,600	56,700	1,15		131	69,350	71,250	1,90		255	366,000	367,200	1,20
	8	56,950	57,950	1,00		132	71,350	72,400	1,05		256	367,200	370,850	3,65
	9	57,950	61,400	3,45		133	88,800	102,500	13,70		257	370,850	372,900	2,05
	10	61,400	63,450	2,05		134	104,600	107,400	2,80		258	372,900	374,200	1,30
	11	63,450	64,500	1,05		135	107,600	109,650	2,05		259	374,200	376,215	2,01
	12	66,400	68,200	1,80		136	109,950	115,700	5,75		260	382,300	385,200	2,90
	13	68,200	69,050	0,85		137	115,950	118,900	2,95		261	385,200	387,400	2,20
	14	70,100	71,330	1,23		138	125,150	126,000	0,85		262	388,150	391,400	3,25
	15	71,800	72,500	0,70		139	126,200	126,750	0,55		263	391,400	396,129	4,73
	16	112,050	114,250	2,20	140	127,000	133,2	6,20	264	396,129	397,125	1,00		
	17	114,650	115,950	1,30	141	134,400	135,000	0,60	265	397,125	400,075	2,95		
	18	116,100	119,700	3,60	142	136,000	141,350	5,35	266	400,075	406,200	6,13		
	19	127,800	128,830	1,03	143	0,150	12,750	12,60	267	412,150	412,955	0,81		
	20	128,830	129,910	1,08	144	13,400	14,650	1,25	268	412,955	415,550	2,60		
	21	132,800	133,900	1,10	145	14,650	16,000	1,35	269	415,550	416,150	0,60		
	22	133,900	136,400	2,50	146	33,750	34,500	0,75	270	416,650	423,650	7,00		
	23	136,400	139,000	2,60	147	33,050	33,750	0,70	271	423,650	429,750	6,10		
	24	139,000	139,750	0,75	148	22,700	30,350	7,65	272	429,750	431,250	1,50		
	25	140,000	140,250	0,25	149	93,800	104,000	10,20	273	431,250	432,950	1,70		
	26	140,500	143,750	3,25	150	112,400	117,600	5,20	274	1,250	1,800	0,55		
	27	144,100	148,850	4,75	151	117,950	121,750	3,80	275	1,800	3,400	1,60		
	28	205,800	209,500	3,70	152	121,750	125,100	3,35	276	4,800	6,100	1,30		
	29	209,500	217,000	7,50	153	125,300	126,700	1,40	277	6,100	8,350	2,25		
	30	293,100	293,930	0,83	154	130,100	133,000	2,90	278	9,900	10,400	0,50		

APÊNDICE B – CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E OPERACIONAIS DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS

Rod.	Km Inicial	Km Final	Ext. km	N° de acessos	VDMA				Nomenclatura antiga	Larg. Faixa m	Larg. acost . m	Vel FL km/h	Curva Horiz. °/km	Curva Vert. m/km	Classe Geom.	Revest. do acost.	Caracterização do Trecho
					2011	2012	2013	2014									
SC108	38,400	40,090	1,69	21	13126	13147	13080	13124	SC413	3,5	3	73	75	10	3	Asfáltico	Entr. BR280
SC108	40,420	41,170	0,75	13	13126	13147	13080	13124	SC413	3,5	3	73	75	10	3	Asfáltico	(Jaraguá do Sul) - Entr.
SC108	41,400	43,960	2,56	24	13126	13147	13080	13124	SC413	3,5	3	73	75	10	3	Asfáltico	SC415 (p/ SJ do Itaperiú)
SC108	43,960	44,360	0,4	3	13126	13147	13080	13124	SC413	3,5	3	73	75	10	3	Asfáltico	
SC108	44,460	45,480	1,02	7	13126	13147	13080	13124	SC413	3,5	3	73	75	10	3	Asfáltico	
SC108	54,800	55,400	0,6	2	8728	8230	8331	8229	SC474	3,5	3	65	161	16	5	Asfáltico	Entr. SC-414
SC108	55,600	56,750	1,15	6	8728	8230	8331	8229	SC474	3,5	3	65	161	16	5	Asfáltico	(p/ Luis Alves) - Entr. Rod.
SC108	56,950	57,950	1	3	8728	8230	8331	8229	SC474	3,5	3	75	52	15	1	Asfáltico	Mun. (p/ Itoupava)
SC108	57,950	61,400	3,45	9	8728	8230	8331	8229	SC474	3,5	3	75	52	15	1	Asfáltico	
SC108	61,400	63,450	2,05	15	8728	8230	8331	8229	SC474	3,5	3	75	52	15	1	Asfáltico	
SC108	63,450	64,500	1,05	3	8728	8230	8331	8229	SC474	3,5	3	62	218	30	6	Asfáltico	
SC108	66,400	68,200	1,8	3	12638	10800	11051	10788	SC474	3,5	3	75	74	41	2	Asfáltico	Entr. BR-470-
SC108	68,200	69,050	0,85	9	12638	10800	11051	10788	SC474	3,5	3	75	74	41	2	Asfáltico	Entr. Rod.
SC108	70,100	71,330	1,23	19	12638	10800	11051	10788	SC474	3,5	3	75	71	7	1	Asfáltico	Mun. de Blumenau
SC108	71,800	72,500	0,7	8	12638	10800	11051	10788	SC474	3,5	3	75	71	7	1	Asfáltico	Blumenau
SC108	112,050	114,250	2,2	8	11138	11138	10613	10505	SC411	3,5	2	75	67	9	1	cascalho	Entr. SC-412
SC108	114,650	115,950	1,3	10	11138	11138	10613	10505	SC411	3,5	2	75	67	9	1	cascalho	(p/ Ilhota) - Brusque (Entr. SC-486)
SC108	116,100	119,700	3,6	23	11138	11138	10613	10505	SC411	3,5	2	75	67	9	1	cascalho	
SC108	127,800	128,830	1,03	14	6897	6897	7081	6860	SC411	3,38	0	73	146	23	3	Sem	Brusque (Entr. SC-486) -
SC108	128,830	129,910	1,08	31	6897	6897	7081	6860	SC411	3,38	0	73	146	23	3	Sem	Claraliba (Entr. Acesso Claraliba)
SC108	132,800	133,900	1,1	22	6897	6897	7081	6860	SC411	3,38	0	45	373	69	8	Sem	
SC108	133,900	136,400	2,5	8	6897	6897	7081	6860	SC411	3,38	0	45	373	69	8	Sem	
SC108	136,400	139,000	2,6	8	6897	6897	7081	6860	SC411	3,38	0	69	99	35	4	Sem	

Rod.	Km Inicial	Km Final	Ext.	N° de acessos	VDMA				Nomen- clatura antiga	Larg. Faixa	Larg. acost.	Vel FL	Curva Horiz.	Curva Vert.	Classe Geom.	Revest. do acost.	do Trecho
					4818	4818	4818	4818									
SC108	139,000	139,750	0,75	15	4818	4818	4486	4401	SC408	3,3	1	69	117	27	4	Asfáltico	Claraíba (Entr. Claraíba) -
SC108	140,000	140,250	0,25	25	4818	4818	4486	4401	SC408	3,3	1	69	117	27	4	Asfáltico	Claraíba) -
SC108	140,500	143,750	3,25	8	4818	4818	4486	4401	SC408	3,3	1	69	117	27	4	Asfáltico	Entr. SC-410 (São J Batista)
SC108	144,100	148,850	4,75	23	4818	4818	4486	4401	SC408	3,3	1	69	117	27	4	Asfáltico	
SC108	205,800	209,500	3,7	14	899	896	949	990	SC407	3,5	1	45	318	63	8	Asfáltico	Entr. SC-407 (Angellina) -
SC108	209,500	217,000	7,5	18	899	896	949	990	SC407	3,5	1	45	309	46	8	Asfáltico	Entr. BR-282 (Rancho Queimado)
SC108	293,100	293,930	0,83	14	4278	4054	4038	4038	SC482	3,38	0	73	113	15	3	Sem	
SC108	293,930	296,330	2,4	10	4278	4054	4038	4038	SC482	3,38	0	73	113	15	3	Sem	
SC108	296,530	297,650	1,12	33	4278	4054	4038	4038	SC482	3,38	0	73	113	15	3	Sem	Entr. SC-436 (Rio Fortuna) -
SC108	297,650	301,800	4,15	9	4278	4054	4038	4038	SC482	3,38	0	73	113	15	3	Sem	Entr. SC-370 (Braço do Norte)
SC108	302,000	303,900	1,9	23	4278	4054	4038	4038	SC482	3,38	0	73	113	15	3	Sem	
SC108	304,350	307,100	2,75	9	4278	4054	4038	4038	SC482	3,38	0	73	113	15	3	Sem	
SC108	307,100	309,300	2,2	0	4278	4054	4038	4038	SC482	3,38	0	73	113	15	3	Sem	
SC108	309,300	310,700	1,4	0	4278	4054	4038	4038	SC482	3,38	0	73	113	15	3	Sem	
SC108	315,500	316,780	1,28	14	10576	9753	9760	9862	SC438	3,5	2	75	24	11	1	Asfáltico	Entr. SC-370 (p/ Gravatal) -
SC108	316,950	317,600	0,65	4	10576	9753	9760	9862	SC438	3,5	2	75	24	11	1	Asfáltico	São Ludgero
SC108	317,800	319,500	1,7	15	10576	9753	9760	9862	SC438	3,5	2	75	24	11	1	Asfáltico	
SC108	339,300	341,200	1,9	7	6779	6687	6812	7041	SC446	3,38	0	75	68	23	1	Sem	Entr. SC-390 (Orleans) -
SC108	341,400	344,000	2,6	14	6779	6687	6812	7041	SC446	3,38	0	75	68	23	1	Sem	Entr. SC-440 (p/ Lauro Muller)
SC108	344,200	350,400	6,2	34	6779	6687	6812	7041	SC446	3,38	0	75	68	23	1	Sem	
SC108	354,000	354,400	0,4	0	10435	10034	12828	12828	SC446	3,5	2	75	62	30	2	Asfáltico	Entr. SC-445 (Urussanga) -
SC108	357,700	356,850	1,15	11	10435	10034	12828	12828	SC446	3,5	2	75	62	30	2	Asfáltico	Entr. SC-442 (Cocal do Sul)
SC108	359,000	359,800	0,8	15	10435	10034	12828	12828	SC446	3,5	2	75	62	30	2	Asfáltico	

Rod.	Km Inicial	Km Final	Ext.	N° de acessos	VDMA			Nomen- clatura antiga	Larg. Faixa	Larg. acost.	Vel FL	Curva Horiz.	Curva Vert.	Classe Geom.	Revest. do acost.	Caracterização do Trecho
SC108	362,800	365,650	2,85	39	17853	18268	16335	SC446	3,5	2	75	22	13	1	Asfáltico	Entr. SC-442 (Cocal do Sul) - (Entr. Anel Rodov. de Criciúma)
SC108	367,800	368,450	0,65	3	17853	18268	16335	SC446	3,5	2	75	49	12	1	Asfáltico	
SC108	369,350	369,800	0,45	6	17853	18268	16335	SC446	3,5	2	75	49	12	1	Asfáltico	Entr. Rod. (Mun a BR-101) - Entr. SC-446 (Forquilha)
SC108	379,700	380,280	0,58	3	8360	9436	9030	SC446	3,38	0	73	107	6	3	Sem	
SC108	380,530	381,480	0,95	13	8360	9436	9030	SC446	3,38	0	73	107	6	3	Sem	Entr. Rod. (Mun a BR-101)
SC108	381,630	382,100	0,47	3	8360	9436	9030	SC446	3,38	0	73	107	6	3	Sem	
SC108	382,900	384,400	1,5	15	8360	9436	9030	SC446	3,38	0	75	56	6	1	Sem	Entr. Rod. (Mun a BR-101)
SC108	384,700	385,200	0,5	11	8360	9436	9030	SC446	3,38	0	75	56	6	1	Sem	
SC108	385,600	386,710	1,11	20	8360	9436	9030	SC446	3,38	0	75	56	6	1	Sem	Entr. Rod. (Mun a BR-101)
SC108	428,000	429,650	1,65	3	2698	2576	2667	SC483	3,38	0	75	19	3	1	Sem	
SC108	429,650	435,970	6,32	16	2698	2576	2667	SC483	3,38	0	75	19	3	1	Sem	Entr. Rod. (Mun a BR-101)
SC108	436,070	437,950	1,88	8	2698	2576	2667	SC483	3,38	0	75	19	3	1	Sem	
SC108	437,950	438,900	0,95	20	2698	2576	2667	SC483	3,38	0	75	19	3	1	Sem	Entr. SC-285 (Ermo) - Entr. SC-449 (Jacinto Machado)

APÊNDICE C – CLASSIFICAÇÃO DOS ACIDENTES AO LONGO DOS ANOS NAS RODOVIAS DA AMOSTRA.

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acid.									
SC108	Abaloamento	10	425	744	12	420	716	8	398	768	11	472	796
	Atropelamento	4	40	46	1	36	41	2	34	37	4	24	31
	Capotamento	0	0	1	0	1	7	0	4	4	1	4	6
	Choque	0	49	114	1	34	123	1	43	115	0	18	93
	Colisão	17	209	429	7	158	447	11	198	434	23	194	432
	Outro	5	16	49	0	17	38	0	15	37	0	11	31
	Saída de pista	10	121	209	8	108	228	15	111	231	7	103	192
	Tombamento	0	38	43	0	41	44	0	42	36	0	41	41
Total	46	898	1.635	29	815	1.644	37	845	1.662	46	867	1.622	

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acid.									
SC110	Abaloamento	1	52	76	3	68	94	0	62	74	2	63	94
	Atropelamento	0	6	8	0	5	4	1	10	12	1	3	6
	Capotamento	0	1	1	0	1	2	0	1	4	0	1	1
	Choque	0	5	12	0	14	21	1	8	19	0	22	26
	Colisão	4	25	47	4	45	51	5	41	52	5	49	56
	Outro	0	1	4	0	0	5	0	0	7	0	1	5
	Saída de pista	5	61	82	5	55	78	1	42	73	4	37	68
	Tombamento	0	4	4	0	5	5	1	6	12	0	10	13
Total	10	157	234	12	193	260	9	170	253	12	186	269	

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acid.									
SC114	Abaloamento	2	41	62	1	23	63	1	28	61	2	30	62
	Atropelamento	2	3	18	1	4	25	1	3	17	0	6	15
	Capotamento	0	1	4	0	4	6	0	0	0	0	2	5
	Choque	0	3	15	1	17	13	1	3	9	4	7	23
	Colisão	1	27	34	1	53	35	3	28	36	2	28	47
	Outro	0	0	7	0	0	5	0	2	12	0	4	15
	Saída de pista	1	42	133	6	59	137	2	50	118	2	56	114
	Tombamento	0	5	4	0	8	9	0	7	7	0	2	5
Total	6	122	277	10	168	293	8	121	260	10	135	286	

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acid.									
SC135	Abaloamento	0	15	38	1	26	63	2	44	66	1	28	61
	Atropelamento	0	3	5	0	3	3	0	0	2	0	1	2
	Capotamento	0	1	2	0	2	2	0	0	1	0	0	0
	Choque	0	4	12	1	4	9	0	4	17	0	2	9
	Colisão	2	10	29	3	8	34	0	10	36	5	15	33
	Outro	1	0	6	0	0	2	0	2	5	0	2	4
	Saída de pista	1	37	64	0	37	67	4	35	86	1	37	76
	Tombamento	0	7	7	1	6	11	0	3	6	0	4	6
Total	4	77	163	6	86	191	6	98	219	7	89	191	

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acidentes	Mortos	Feridos	Total de acidentes	Mortos	Feridos	Total de acidentes	Mortos	Feridos	Total de acidentes
SC155	Abaloamento	1	17	27	2	20	33	0	15	38	1	16	30
	Atropelamento	1	2	3	0	1	6	0	0	2	0	1	3
	Capotamento	0	2	3	0	1	2	0	1	2	0	0	0
	Choque	0	0	5	0	4	14	0	1	7	0	0	5
	Colisão	8	59	19	2	7	21	3	18	23	1	11	18
	Outro	0	0	1	0	3	2	0	0	2	0	00	00
	Saída de pista	2	18	43	0	26	48	1	16	38	1	14	38
	Tombamento	0	2	7	2	3	4	0	2	2	0	3	4
Total	12	100	108	6	65	130	4	53	114	3	45	98	

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acidentes	Mortos	Feridos	Total de acidentes	Mortos	Feridos	Total de acidentes	Mortos	Feridos	Total de acidentes
SC157	Abaloamento	2	13	23	0	15	28	0	29	41	0	32	33
	Atropelamento	1	0	1	0	1	2	1	1	3	0	0	2
	Capotamento	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	00
	Choque	0	0	3	0	1	3	0	2	7	0	1	10
	Colisão	3	13	28	1	3	16	0	9	24	1	11	47
	Outro	0	1	1	0	0	4	2	1	4	0	0	2
	Saída de pista	0	21	33	0	31	45	2	31	54	1	41	72
	Tombamento	0	4	4	0	2	2	0	10	7	0	3	5
Total	6	52	93	1	53	101	5	83	140	2	88	171	

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acidentes	Mortos	Feridos	Total de acidentes	Mortos	Feridos	Total de acidentes	Mortos	Feridos	Total de acidentes
SC160	Abaloamento	0	12	19	0	8	23	1	11	21	0	19	20
	Atropelamento	0	0	0	0	1	4	0	2	3	0	0	0
	Capotamento	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0	00	00
	Choque	0	1	2	0	1	1	0	0	1	0	0	1
	Colisão	1	10	12	3	18	16	3	15	15	0	13	25
	Outro	0	0	2	0	0	2	0	0	1	0	0	1
	Saída de pista	1	24	35	1	21	28	0	41	38	1	27	48
	Tombamento	0	1	3	0	4	6	0	8	9	1	2	6
Total	2	48	73	4	53	80	4	81	90	2	61	101	

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acd.									
SC283	Abaloamento	1	65	94	3	44	79	2	49	92	3	55	83
	Atropelamento	4	11	16	0	3	4	1	5	3	0	5	5
	Capotamento	0	2	6	0	0	1	0	2	4	0	3	2
	Choque	1	5	6	0	4	11	0	3	9	0	2	11
	Colisão	2	37	64	5	47	89	4	55	83	2	53	95
	Outro	0	1	3	0	3	7	0	1	2	0	1	6
	Saída de pista	5	54	90	3	61	105	5	62	113	4	76	113
	Tombamento	0	18	17	0	13	13	0	21	22	0	17	19
Total	13	193	296	11	175	309	12	198	328	9	212	334	

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acidentes									
SC305	Abaloamento	0	8	13	0	13	12	1	8	12	0	5	14
	Atropelamento	0	0	2	0	3	4	1	1	4	1	0	5
	Capotamento	0	1	2	0	0	0	0	0	2	0	4	1
	Choque	0	2	2	0	4	2	1	1	2	0	0	3
	Colisão	2	11	13	0	9	7	0	3	6	0	2	6
	Outro	0	00	00	0	00	00	0	0	2	0	00	
	Saída de pista	0	16	25	0	21	32	4	14	35	1	26	46
	Tombamento	0	5	6	0	0	1	0	1	2	0	3	2
Total	2	43	63	0	50	58	7	28	65	2	40	77	

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acidentes									
SC350	Abaloamento	2	60	83	9	72	88	2	63	80	0	63	102
	Atropelamento	1	9	16	2	6	7	0	9	13	2	8	10
	Capotamento	0	2	5	0	2	7	0	0	5	0	3	3
	Choque	3	21	29	1	14	30	0	8	27	0	8	28
	Colisão	3	37	57	6	87	85	4	40	70	1	42	65
	Outro	1	1	6	0	1	10	0	1	9	0	0	7
	Saída de pista	1	68	119	2	75	131	6	63	126	4	61	106
	Tombamento	0	11	12	2	21	22	0	11	19	0	8	12
Total	11	209	327	22	278	380	12	195	349	7	193	333	

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acidentes									
SC355	Abaloamento	1	18	36	0	19	39	1	29	43	1	31	50
	Atropelamento	1	2	4	0	1	2	1	3	4	0	3	7
	Capotamento	0	1	2	0	0	0	0	1	2	0	0	2
	Choque	1	12	16	0	3	9	2	1	7	1	8	15
	Colisão	7	25	29	1	16	28	0	11	26	5	26	58
	Outro	0	0	3	0	0	1	0	0	1	0	1	4
	Saída de pista	0	28	29	1	22	28	1	42	46	0	42	57
	Tombamento	0	3	6	0	5	10	0	4	6	0	7	9
Total	10	89	125	2	66	117	5	91	135	7	118	202	

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acd.									
SC390	Abaloamento	0	69	166	4	54	131	0	48	130	0	59	162
	Atropelamento	0	10	12	2	4	11	0	4	9	1	12	12
	Capotamento	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	2	4
	Choque	1	10	36	1	11	21	0	7	28	0	11	26
	Colisão	1	37	66	4	38	69	0	26	65	0	41	71
	Outro	0	2	3	0	5	7	0	2	7	0	1	9
	Saída de pista	7	69	110	2	69	117	2	87	124	2	61	111
	Tombamento	0	19	19	0	25	25	0	13	15	0	24	23
Total	9	216	413	13	207	382	2	188	379	3	211	418	

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acidentes									
SC486	Abaloamento	1	55	83	2	43	77	3	80	118	3	63	99
	Atropelamento	1	3	9	0	6	6	0	6	6	0	9	7
	Choque	0	2	8	0	0	7	0	1	7	0	2	6
	Colisão	3	33	71	6	38	84	7	31	74	4	33	90
	Outro	0	2	3	0	0	4	0	1	5	0	1	5
	Saída de pista	0	9	15	1	17	24	5	16	17	2	18	17
	Tombamento	0	4	4	0	4	4	2	4	5	0	3	3
	Total	5	108	193	9	108	206	17	139	232	9	129	227

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acidentes									
SC480	Abaloamento	0	16	49	0	13	34	1	23	52	2	48	78
	Atropelamento	2	2	6	1	2	4	1	4	7	1	1	7
	Capotamento	0	1	1	1	6	3	0	0	1	0	1	1
	Choque	0	2	9	0	4	7	2	4	10	0	1	5
	Colisão	2	30	50	1	37	62	3	38	58	5	21	57
	Outro	0	0	1	1	1	3	0	2	7	0	0	4
	Saída de pista	1	23	46	2	33	45	1	36	49	3	35	56
	Tombamento	0	4	3	0	2	5	1	2	3	0	7	5
Total	5	78	165	6	98	163	9	109	187	11	114	213	

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acidentes	Mortos	Feridos	Total de acidentes	Mortos	Feridos	Total de acidentes	Mortos	Feridos	Total de acidentes
SC464	Abaloamento	0	4	3	0	1	3	0	2	4	0	2	3
	Capotamento	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Choque	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
	Colisão	0	1	2	1	3	3	0	2	3	0	0	3
	Saída de pista	0	1	2	0	5	5	0	6	7	0	2	7
	Tombamento	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	8	10	1	9	11	0	11	15	0	4	14

Rod.	Tipo	Acidentes 2011			Acidentes 2012			Acidentes 2013			Acidentes 2014		
		Mortos	Feridos	Total de acidentes									
SC150	Abaloamento	1	10	14	1	19	21	1	13	21	0	11	21
	Atropelamento	0	2	3	0	0	1	0	1	2	0	0	3
	Capotamento	0	0	2	1	1	3	0	2	2	0	0	1
	Choque	0	7	8	0	1	6	0	0	3	0	3	7
	Colisão	1	7	10	0	12	11	3	16	14	0	2	10
	Outro	0	0	1	0	0	2	1	0	3	0	0	2
	Saída de pista	3	16	37	2	40	43	0	21	39	2	34	54
	Tombamento	1	4	5	4	73	87	0	0	1	0	0	0
	Total	6	46	80	4	73	87	5	53	85	2	50	98

APÊNDICE D – NÚMERO DE ACIDENTES PREVISTOS POR SEGMENTO HOMOGÊNEO ATRAVÉS DA EQUAÇÃO ORIGINAL DO HSM.

Rodovia	TH	Ext. (km)	2011		2012		2013		2014	
			N _{prev}	N _{obs}						
SC108	1	1,69	3,68	6	3,69	11	3,67	10	3,68	4
	2	0,75	1,63	2	1,64	1	1,63	6	1,63	7
	3	2,56	5,58	12	5,59	11	5,56	8	5,58	8
	4	0,40	0,87	3	0,87	2	0,87	3	0,87	4
	5	1,02	2,22	10	2,23	7	2,22	7	2,22	4
	6	0,60	0,87	0	0,82	5	0,83	5	0,82	5
	7	1,15	1,67	12	1,57	13	1,59	15	1,57	5
	8	1,00	1,45	9	1,37	9	1,38	5	1,37	2
	9	3,45	5,00	17	4,71	17	4,77	14	4,71	16
	10	2,05	2,97	14	2,80	7	2,84	7	2,80	3
	11	1,05	1,52	13	1,43	10	1,45	30	1,43	14
	12	1,80	3,78	29	3,23	27	3,30	39	3,22	36
	13	0,85	1,78	13	1,52	9	1,56	7	1,52	4
	14	1,23	2,58	14	2,21	7	2,26	8	2,20	5
	15	0,70	1,47	5	1,26	5	1,28	17	1,25	19
	16	2,20	4,07	8	4,07	11	3,88	13	3,84	12
	17	1,30	2,40	7	2,40	12	2,29	13	2,27	8
	18	3,60	6,66	29	6,66	47	6,34	33	6,28	30
	19	1,03	1,18	0	1,18	0	1,21	0	1,17	0
	20	1,08	1,24	0	1,24	0	1,27	0	1,23	0
	21	1,10	1,26	3	1,26	0	1,29	5	1,25	8
	22	2,50	2,86	13	2,86	3	2,94	5	2,85	9
	23	2,60	2,98	9	2,98	13	3,06	2	2,96	5
	24	0,75	0,60	0	0,60	0	0,56	3	0,55	1
	25	0,25	0,20	0	0,20	1	0,19	6	0,18	5
	26	3,25	2,60	12	2,60	19	2,42	3	2,38	6
	27	4,75	3,80	9	3,80	8	3,54	5	3,47	3
	28	3,70	0,55	0	0,55	1	0,58	1	0,61	0
	29	7,50	1,12	0	1,12	0	1,18	2	1,23	1
	30	0,83	0,59	0	0,56	0	0,56	0	0,56	1
	31	2,40	1,70	2	1,62	3	1,61	1	1,61	2
	32	1,12	0,80	4	0,75	3	0,75	3	0,75	1
	33	4,15	2,95	5	2,79	5	2,78	6	2,78	10
	34	1,90	1,35	3	1,28	1	1,27	2	1,27	5
	35	2,75	1,95	2	1,85	8	1,84	5	1,84	3
	36	2,20	1,56	8	1,48	3	1,48	3	1,48	8
	37	1,40	0,99	2	0,94	4	0,94	1	0,94	1
	38	1,28	2,25	15	2,07	14	2,07	10	2,10	11
	39	0,65	1,14	4	1,05	5	1,05	6	1,06	7
	40	1,70	2,99	8	2,75	8	2,76	9	2,78	10
	41	1,90	2,14	1	2,11	6	2,15	5	2,22	7
	42	2,60	2,93	10	2,89	4	2,94	3	3,04	6

Rodovia	TH	Ext. (km)	2011		2012		2013		2014	
			N _{prev}	N _{obs}						
	43	6,20	6,98	15	6,88	24	7,01	22	7,25	22
	44	0,40	0,69	13	0,67	7	0,85	1	0,85	3
	45	1,15	1,99	7	1,92	7	2,45	2	2,45	6
	46	0,80	1,39	7	1,33	6	1,70	6	1,70	3
	47	2,85	8,45	16	8,65	10	7,82	26	7,73	22
	48	0,65	1,93	12	1,97	9	1,78	1	1,76	0
	49	0,45	1,33	5	1,37	0	1,23	0	1,22	2
	50	0,58	0,81	2	0,91	0	0,92	5	0,87	3
	51	0,95	1,32	4	1,49	7	1,51	4	1,42	4
	52	0,47	0,65	2	0,74	4	0,75	1	0,70	3
	53	1,50	2,08	6	2,35	9	2,38	5	2,25	11
	54	0,50	0,69	0	0,78	0	0,79	2	0,75	10
	55	1,11	1,54	2	1,74	5	1,76	5	1,66	4
	56	1,65	0,74	5	0,71	2	0,71	4	0,73	4
	57	6,32	2,83	6	2,70	3	2,70	5	2,80	4
	58	1,88	0,84	3	0,80	1	0,80	1	0,83	2
	59	0,95	0,43	0	0,41	1	0,41	0	0,42	0

**APÊNDICE E – NÚMERO DE ACIDENTES PREVISTOS POR
SEGMENTO HOMOGÊNEO A PARTIR DA APLICAÇÃO DOS
CMF_s E FATOR DE CALIBRAÇÃO PONTUAL –FP.**

Rodovia	TH	2011		2012		2013		2014		Fp
		Nprev	Nobs	Nprev	Nobs	Nprev	Nobs	Nprev	Nobs	
SC108	1	4,56	6	4,55	11	4,54	10	4,56	4	1,70
	2	1,96	2	1,95	1	1,95	6	1,96	7	2,05
	3	6,62	12	6,62	11	6,60	8	6,63	8	1,47
	4	1,22	3	1,22	2	1,22	3	1,22	4	2,45
	5	2,63	10	2,63	7	2,62	7	2,64	4	2,66
	6	1,20	0	1,13	5	1,14	5	1,13	5	3,27
	7	2,23	12	2,11	13	2,13	15	2,11	5	5,24
	8	1,67	9	1,57	9	1,59	5	1,58	2	3,90
	9	5,59	17	5,26	17	5,33	14	5,27	16	2,98
	10	3,68	14	3,48	7	3,52	7	3,49	3	2,19
	11	2,11	13	1,98	10	2,01	30	1,99	14	8,28
	12	4,71	29	4,00	27	4,10	39	4,00	36	7,79
	13	2,43	13	2,12	9	2,17	7	2,13	4	3,73
	14	2,94	14	2,60	7	2,65	8	2,61	5	3,15
	15	1,77	5	1,55	5	1,58	17	1,56	19	7,12
	16	4,80	8	4,81	11	4,58	13	4,53	12	2,35
	17	3,06	7	3,06	12	2,93	13	2,90	8	3,35
	18	8,17	29	8,18	47	7,82	33	7,74	30	4,36
	19	2,39	0	2,41	0	2,45	0	2,37	0	0,00
	20	2,86	0	2,89	0	2,93	0	2,85	0	0,00
	21	3,56	3	3,59	0	3,64	5	3,53	8	1,12
	22	5,75	13	5,80	3	5,93	5	5,70	9	1,29
	23	4,61	9	4,65	13	4,75	2	4,57	5	1,56
	24	1,47	0	1,48	0	1,40	3	1,37	1	0,70
	25	1,99	0	2,00	1	1,92	6	1,89	5	1,54
	26	3,18	12	3,20	19	2,97	3	2,90	6	3,26
	27	5,74	9	5,78	8	5,37	5	5,25	3	1,13
	28	1,00	0	0,96	1	1,02	1	1,06	0	0,50
	29	1,68	0	1,60	0	1,70	2	1,77	1	0,44
	30	1,12	0	1,08	0	1,07	0	1,06	1	0,23
	31	2,74	2	2,62	3	2,60	1	2,58	2	0,76
	32	2,04	4	1,97	3	1,96	3	1,95	1	1,39
	33	4,10	5	3,92	5	3,88	6	3,85	10	1,65
	34	2,61	3	2,51	1	2,49	2	2,47	5	1,09
	35	2,84	2	2,72	8	2,69	5	2,67	3	1,65
	36	1,76	8	1,68	3	1,66	3	1,65	8	3,26
	37	1,14	2	1,08	4	1,07	1	1,07	1	1,84
	38	3,01	15	2,81	14	2,81	10	2,83	11	4,36
	39	1,44	4	1,34	5	1,34	6	1,35	7	4,02
	40	4,12	8	3,84	8	3,84	9	3,87	10	2,23
	41	3,26	1	3,25	6	3,29	5	3,38	7	1,44
	42	4,65	10	4,63	4	4,69	3	4,80	6	1,23
	43	11,83	15	11,79	24	11,94	22	12,23	22	1,74
	44	0,98	13	0,94	7	1,22	1	1,22	3	5,50
	45	3,07	7	2,97	7	3,68	2	3,67	6	1,64
	46	2,50	7	2,44	6	2,90	6	2,90	3	2,05
	47	11,29	16	11,50	10	10,65	26	10,55	22	1,68

TH	2011		2012		2013		2014		Fp
	Nprev	Nobs	Nprev	Nobs	Nprev	Nobs	Nprev	Nobs	
48	1,97	12	2,02	9	1,83	1	1,81	0	2,89
49	1,84	5	1,87	0	1,73	0	1,72	2	0,98
50	1,10	2	1,25	0	1,26	5	1,18	3	2,09
51	2,10	4	2,34	7	2,35	4	2,23	4	2,11
52	1,19	2	1,35	4	1,36	1	1,28	3	1,93
53	3,39	6	3,80	9	3,83	5	3,61	11	2,12
54	1,52	0	1,67	0	1,68	2	1,60	10	1,85
55	2,56	2	2,83	5	2,85	5	2,71	4	1,46
56	0,80	5	0,77	2	0,76	4	0,78	4	4,82
57	3,14	6	3,03	3	3,01	5	3,10	4	1,47
58	1,01	3	0,98	1	0,97	1	1,00	2	1,77
59	0,89	0	0,86	1	0,86	0	0,88	0	0,29

APÊNDICE F – NÚMERO DE ACIDENTES PREVISTOS APÓS A CALIBRAÇÃO REGIONAL E TOTAL DO MODELO – CENÁRIOS 2 E 3.

Rod.	Km Inicial	Km Final	2011			2012			2013			2014			Total		
			N obs	N _{previsto} (Fr)	N _{previsto} amostr a total (C _x)	N obs	N _{previsto} (Fr)	N _{previsto} amostr a total (C _x)	N obs	N _{previsto} (Fr)	N _{previsto} amostr a total (C _x)	N obs	N _{previsto} (Fr)	N _{previsto} amostr a total (C _x)	N obs	N _{previsto} (Fr)	N _{previsto} amostr a total (C _x)
SC108	38,400	40,090	6	10,48	9,26	11	10,47	9,25	10	10,44	9,22	4	10,48	9,26	31,00	41,87	36,98
SC108	40,420	41,170	2	4,50	3,97	1	4,49	3,97	6	4,48	3,96	7	4,50	3,98	16,00	17,98	15,88
SC108	41,400	43,960	12	15,23	13,45	11	15,22	13,44	8	15,17	13,40	8	15,24	13,46	39,00	60,85	53,75
SC108	43,960	44,360	3	2,82	2,49	2	2,81	2,48	3	2,80	2,48	4	2,82	2,49	12,00	11,25	9,94
SC108	44,460	45,480	10	6,06	5,35	7	6,05	5,34	7	6,03	5,33	4	6,06	5,35	28,00	24,19	21,37
SC108	54,800	55,400	0	2,75	2,43	5	2,59	2,29	5	2,62	2,32	5	2,59	2,29	15,00	10,55	9,32
SC108	55,600	56,750	12	5,13	4,53	13	4,84	4,28	15	4,90	4,33	5	4,86	4,29	45,00	19,74	17,43
SC108	56,950	57,950	9	3,84	3,39	9	3,61	3,19	5	3,66	3,23	2	3,62	3,20	25,00	14,74	13,02
SC108	57,950	61,400	17	12,86	11,36	17	12,09	10,68	14	12,25	10,82	16	12,12	10,71	64,00	49,32	43,57
SC108	61,400	63,450	14	8,46	7,47	7	7,99	7,06	7	8,09	7,15	3	8,02	7,08	31,00	32,56	28,76
SC108	63,45	64,5	13	4,85	4,28	10	4,56	4,03	30	4,62	4,08	14	4,57	4,04	67,00	18,59	16,43
SC108	66,4	68,2	29	10,83	9,57	27	9,19	8,12	39	9,42	8,32	36	9,20	8,13	131,00	38,65	34,14
SC108	68,2	69,05	13	5,59	4,94	9	4,88	4,31	7	4,98	4,40	4	4,89	4,32	33,00	20,35	17,98
SC108	70,100	71,330	14	6,77	5,98	7	5,99	5,29	8	6,10	5,39	5	6,00	5,30	34,00	24,85	21,95
SC108	71,800	72,500	5	4,08	3,60	5	3,57	3,15	17	3,64	3,22	19	3,58	3,16	46,00	14,86	13,13
SC108	112,050	114,250	8	11,04	9,76	11	11,05	9,76	13	10,53	9,31	12	10,42	9,21	44,00	43,05	38,03
SC108	114,650	115,950	7	7,03	6,21	12	7,04	6,22	13	6,73	5,95	8	6,67	5,89	40,00	27,47	24,27
SC108	116,100	119,700	29	18,79	16,60	47	18,81	16,62	33	17,98	15,88	30	17,79	15,72	139,00	73,38	64,82
SC108	127,800	128,830	0	5,49	4,85	0	5,54	4,90	0	5,64	4,98	0	5,45	4,82	0,00	22,12	19,54
SC108	128,830	129,910	0	6,59	5,82	0	6,65	5,87	0	6,74	5,95	0	6,54	5,78	0,00	26,51	23,42
SC108	132,800	133,900	3	8,18	7,22	0	8,26	7,29	5	8,38	7,40	8	8,12	7,18	16,00	32,94	29,10
SC108	133,900	136,400	13	13,22	11,68	3	13,35	11,79	5	13,63	12,04	9	13,12	11,59	30,00	53,32	47,10
SC108	136,4	139	9	10,60	9,36	13	10,70	9,45	2	10,93	9,66	5	10,51	9,29	29,00	42,74	37,75
SC108	139,000	139,750	0	3,38	2,99	0	3,41	3,01	3	3,21	2,84	1	3,14	2,78	4,00	13,15	11,61
SC108	140,000	140,250	0	4,57	4,04	1	4,60	4,07	6	4,41	3,89	5	4,34	3,83	12,00	17,92	15,83

Rod.	Km Inicial	Km Final	2011		2012		2013		2014		Total						
			N _{obs}	N _{previsto por amostragem a total (Fr)}	N _{previsto fator por amostragem a total (Cx)}	N _{obs}	N _{previsto (Fr)}	N _{previsto fator por amostragem a total (Cx)}	N _{obs}	N _{previsto (Fr)}	N _{previsto fator por amostragem a total (Cx)}	N _{obs}	N _{previsto por amostragem a total (Cx)}				
SC108	140,500	143,750	12	7,32	6,46	19	7,37	6,51	3	6,83	6,03	6	6,66	5,88	40,00	28,17	24,89
SC108	144,100	148,850	9	13,19	11,65	8	13,29	11,74	5	12,36	10,91	3	12,06	10,66	25,00	50,90	44,96
SC108	205,800	209,500	0	2,31	2,04	1	2,20	1,95	1	2,33	2,06	0	2,43	2,15	2,00	9,28	8,19
SC108	209,500	217,000	0	3,85	3,40	0	3,68	3,25	2	3,90	3,45	1	4,07	3,60	3,00	15,50	13,70
SC108	293,100	293,930	0	2,57	2,27	0	2,48	2,19	0	2,46	2,17	1	2,44	2,16	1,00	9,95	8,79
SC108	293,930	296,530	2	6,30	5,56	3	6,03	5,33	1	5,98	5,28	2	5,94	5,24	8,00	24,25	21,42
SC108	296,530	297,650	4	4,68	4,13	3	4,54	4,01	3	4,51	3,98	1	4,47	3,95	11,00	18,20	16,07
SC108	297,650	301,800	5	9,42	8,32	5	9,00	7,95	6	8,92	7,88	10	8,86	7,82	26,00	36,20	31,98
SC108	302,000	303,900	3	5,99	5,29	1	5,77	5,10	2	5,72	5,06	5	5,68	5,02	11,00	23,17	20,47
SC108	304,350	307,100	2	6,53	5,76	8	6,24	5,52	5	6,19	5,47	3	6,14	5,43	18,00	25,10	22,18
SC108	307,100	309,800	8	4,04	3,57	3	3,85	3,40	3	3,82	3,37	8	3,79	3,35	22,00	15,51	13,70
SC108	309,800	310,700	2	2,61	2,31	4	2,49	2,20	1	2,47	2,18	1	2,45	2,16	8,00	10,02	8,85
SC108	315,500	316,780	15	6,91	6,11	14	6,46	5,71	10	6,46	5,71	11	6,52	5,76	50,00	26,35	23,28
SC108	316,950	317,600	4	3,32	2,93	5	3,08	2,72	6	3,08	2,72	7	3,11	2,74	22,00	12,58	11,11
SC108	317,800	319,500	8	9,47	8,37	8	8,83	7,80	9	8,83	7,80	10	8,90	7,86	35,00	36,03	31,83
SC108	339,300	341,200	1	7,50	6,62	6	7,47	6,60	5	7,57	6,69	7	7,76	6,86	19,00	30,30	26,77
SC108	341,400	344,000	10	10,68	9,44	4	10,64	9,40	3	10,78	9,52	6	11,05	9,76	23,00	43,15	38,12
SC108	344,200	350,400	15	27,20	24,02	24	27,10	23,94	22	27,45	24,25	22	28,13	24,84	83,00	169,87	97,06
SC108	354,000	354,400	13	2,25	1,99	7	2,16	1,91	1	2,81	2,48	3	2,81	2,48	24,00	10,03	8,86
SC108	355,700	356,850	7	7,07	6,24	7	6,84	6,04	2	8,45	7,47	6	8,45	7,46	22,00	30,80	27,21
SC108	359,000	359,800	7	5,76	5,09	6	5,60	4,95	6	6,67	5,90	3	6,67	5,89	22,00	24,70	21,82
SC108	362,800	365,650	16	25,96	22,94	10	26,44	23,36	26	24,49	21,64	22	24,26	21,43	74,00	101,16	89,36
SC108	367,800	368,450	12	4,53	4,00	9	4,64	4,10	1	4,21	3,72	0	4,16	3,67	22,00	17,53	15,49
SC108	369,350	369,800	5	4,22	3,73	0	4,30	3,80	0	3,98	3,52	2	3,94	3,48	7,00	16,45	14,53
SC108	379,700	380,280	2	2,53	2,24	0	2,87	2,53	5	2,89	2,56	3	2,72	2,40	10,00	11,01	9,73
SC108	380,530	381,480	4	4,82	4,26	7	5,37	4,75	4	5,41	4,78	4	5,12	4,52	19,00	20,73	18,31
SC108	381,630	382,100	2	2,74	2,42	4	3,10	2,74	1	3,13	2,76	3	2,94	2,60	10,00	11,91	10,52
SC108	382,900	384,400	6	7,79	6,88	9	8,74	7,72	5	8,80	7,78	11	8,31	7,34	31,00	33,64	29,71
SC108	384,700	385,200	0	3,49	3,09	0	3,84	3,39	2	3,86	3,41	10	3,68	3,25	12,00	14,88	13,14

SC108	385,600	386,710	2	5,89	5,20	5	6,51	5,75	5	6,55	5,78	4	6,22	5,50	16,00	25,17	22,23
SC108	428,000	429,650	5	1,83	1,62	2	1,76	1,56	4	1,75	1,55	4	1,80	1,59	15,00	7,15	6,32
SC108	429,650	435,970	6	7,23	6,39	3	6,96	6,15	5	6,93	6,12	4	7,13	6,29	18,00	28,25	24,95
SC108	436,070	437,950	3	2,33	2,06	1	2,25	1,98	1	2,23	1,97	2	2,29	2,03	7,00	9,10	8,04
SC108	437,950	438,900	0	2,04	1,80	1	1,98	1,75	0	1,97	1,74	0	2,01	1,78	1,00	8,00	7,07
			41														
			8	417,49	368,80	415	411,64	363,62	416	411,21	363,24	399	407,65	360,10	1648	1648	1455,77

APÊNDICE G – RESULTADOS DE W_i , PARÂMETRO DE DISPERSÃO K E NÚMERO DE ACIDENTES ESPERADOS.

Rodovia	Km Inicial	Km Final	Extensão	k	Bayes			
					w	Nesperado_por rodovia	w	Nesperado_amostra total
SC108	38,400	40,090	1,69	1,092	0,0214	31,23	0,0242	31,14
SC108	40,420	41,170	0,75	2,460	0,0221	16,04	0,0250	16,00
SC108	41,400	43,960	2,56	0,721	0,0223	39,49	0,0252	39,37
SC108	43,960	44,360	0,4	4,613	0,0189	11,99	0,0214	11,96
SC108	44,460	45,480	1,02	1,809	0,0223	27,91	0,0252	27,83
SC108	54,800	55,400	0,6	3,075	0,0299	14,87	0,0337	14,81
SC108	55,600	56,750	1,15	1,604	0,0306	44,23	0,0345	44,05
SC108	56,950	57,950	1	1,845	0,0355	24,64	0,0400	24,52
SC108	57,950	61,400	3,45	0,535	0,0365	63,46	0,0412	63,16
SC108	61,400	63,450	2,05	0,900	0,0330	31,05	0,0372	30,92
SC108	63,45	64,5	1,05	1,757	0,0297	65,56	0,0335	65,31
SC108	66,4	68,2	1,80	1,025	0,0246	128,73	0,0278	128,31
SC108	68,2	69,05	0,85	2,171	0,0221	32,72	0,0250	32,62
SC108	70,100	71,330	1,23	1,500	0,0261	33,76	0,0295	33,64
SC108	71,800	72,500	0,7	2,636	0,0249	45,23	0,0281	45,08
SC108	112,050	114,250	2,2	0,839	0,0270	43,97	0,0304	43,82
SC108	114,650	115,950	1,3	1,419	0,0250	39,69	0,0282	39,56
SC108	116,100	119,700	3,6	0,512	0,0259	137,30	0,0292	136,83
SC108	127,800	128,830	1,03	1,791	0,0246	0,54	0,0278	0,54
SC108	128,830	129,910	1,08	1,708	0,0216	0,57	0,0244	0,57
SC108	132,800	133,900	1,1	1,677	0,0178	16,30	0,0201	16,26
SC108	133,900	136,400	2,5	0,738	0,0248	30,58	0,0280	30,48
SC108	136,4	139	2,60	0,710	0,0319	29,44	0,0360	29,31
SC108	139,000	139,750	0,75	2,460	0,0300	4,27	0,0338	4,26
SC108	140,000	140,250	0,25	7,380	0,0075	12,04	0,0085	12,03
SC108	140,500	143,750	3,25	0,568	0,0588	39,30	0,0661	39,00
SC108	144,100	148,850	4,75	0,388	0,0481	26,25	0,0542	26,08
SC108	205,800	209,500	3,7	0,499	0,1778	3,29	0,1966	3,22
SC108	209,500	217,000	7,5	0,246	0,2077	5,60	0,2289	5,45
SC108	293,100	293,930	0,83	2,223	0,0433	1,39	0,0487	1,38
SC108	293,930	296,330	2,4	0,769	0,0509	8,83	0,0573	8,77
SC108	296,530	297,650	1,12	1,647	0,0323	11,23	0,0364	11,18
SC108	297,650	301,800	4,15	0,445	0,0585	26,60	0,0657	26,39
SC108	302,000	303,900	1,9	0,971	0,0426	11,52	0,0479	11,45
SC108	304,350	307,100	2,75	0,671	0,0560	18,40	0,0630	18,26
SC108	307,100	309,300	2,2	0,839	0,0714	21,54	0,0801	21,34
SC108	309,300	310,700	1,4	1,318	0,0704	8,14	0,0789	8,07
SC108	315,500	316,780	1,28	1,441	0,0256	49,39	0,0289	49,23
SC108	316,950	317,600	0,65	2,838	0,0272	21,74	0,0307	21,67
SC108	317,800	319,500	1,7	1,085	0,0249	35,03	0,0281	34,91
SC108	339,300	341,200	1,9	0,971	0,0329	19,37	0,0370	19,29
SC108	341,400	344,000	2,6	0,710	0,0316	23,64	0,0356	23,54
SC108	344,200	350,400	6,2	0,298	0,0297	83,80	0,0335	83,47
SC108	354,000	354,400	0,4	4,613	0,0212	23,70	0,0239	23,64
SC108	355,700	356,850	1,15	1,604	0,0198	22,17	0,0224	22,12
SC108	359,000	359,800	0,8	2,306	0,0173	22,05	0,0195	22,00
SC108	362,800	365,650	2,85	0,647	0,0150	74,41	0,0170	74,26
SC108	367,800	368,450	0,65	2,838	0,0197	21,91	0,0222	21,86
SC108	369,350	369,800	0,45	4,100	0,0146	7,14	0,0165	7,12
SC108	379,700	380,280	0,58	3,181	0,0278	10,03	0,0313	9,99

Rodovia	Km Inicial	Km Final	Extensão	k	Bayes			
					w	Nesperado_por rodovia	w	Nesperado amostra total
SC108	380,530	381,480	0,95	1,942	0,0242	19,04	0,0274	18,98
SC108	381,630	382,100	0,47	3,926	0,0209	10,04	0,0236	10,01
SC108	382,900	384,400	1,5	1,230	0,0236	31,06	0,0266	30,97
SC108	384,700	385,200	0,5	3,690	0,0179	12,05	0,0202	12,02
SC108	385,600	386,710	1,11	1,662	0,0233	16,21	0,0264	16,16
SC108	428,000	429,650	1,65	1,118	0,1112	14,13	0,1240	13,92
SC108	429,650	435,970	6,32	0,292	0,1082	19,11	0,1207	18,84
SC108	436,070	437,950	1,88	0,981	0,1007	7,21	0,1125	7,12
SC108	437,950	438,900	0,95	1,942	0,0605	1,42	0,0679	1,41
Total						1652,36		1645,50

APÊNDICE H – CARACTERÍSTICAS E RESULTADOS DOS CMF₅.

Rod.	Km Inicial	Km Final	Larg. faixa (m)	CMF ₁	Larg. acost (m)	Revest acost	CMF ₂	Raio (m)	CMF ₃	Emissão (m/m)	CMF ₄	CMF ₅	DD	CMF ₆	CMF ₇	CMF ₈	CMF ₉	IBL	CMF ₁₀	CMF ₁₁	CMF ₁₂
SC108	38,400	40,090	3,5	1,010	3	P	0,950	1291,065	1,012	0,01	1,000	1	12,426	1,116	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	40,420	41,170	3,5	1,010	3	P	0,950	572,958	1,061	0,01	1,000	1	17,333	1,177	1	1	1	3	1,000	1	1
SC108	41,400	43,960	3,5	1,010	3	P	0,950	1955,696	1,005	0,01	1,000	1	9,375	1,078	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	43,960	44,360	3,5	1,010	3	P	0,950	305,577	1,216	0,01	1,000	1	7,500	1,055	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	44,460	45,480	3,5	1,010	3	P	0,950	779,223	1,033	0,01	1,000	1	6,863	1,047	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	54,800	55,400	3,5	1,010	3	P	0,950	213,525	1,206	0,016	1,036	1	3,353	1,005	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	55,600	56,750	3,5	1,010	3	P	0,950	409,256	1,056	0,016	1,036	1	5,217	1,048	1	1	1	6	1,222	1	1
SC108	56,950	57,950	3,5	1,010	3	P	0,950	1101,842	1,024	0,015	1,030	1	3,000	0,998	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	57,950	61,400	3,5	1,010	3	P	0,950	3801,355	1,002	0,015	1,030	1	2,609	0,989	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	61,400	63,450	3,5	1,010	3	P	0,950	2258,776	1,006	0,015	1,030	1	7,317	1,096	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	63,45	64,5	3,5	1,010	3	P	0,950	275,966	1,091	0,03	1,090	1	2,857	0,994	1	1	1	6	1,222	1	1
SC108	66,4	68,2	3,5	1,010	3	P	0,950	1393,681	1,011	0,041	1,123	1,1	1,667	0,976	1	1	1	5	1,143	1	0,93
SC108	68,2	69,05	3,5	1,010	3	P	0,950	658,127	1,047	0,041	1,123	1,1	10,588	1,126	1	1	1	3	1,000	1	1
SC108	70,100	71,330	3,5	1,010	3	P	0,950	992,589	1,022	0,007	1,000	1	15,447	1,209	1	1	1	3	1,000	1	1
SC108	71,800	72,500	3,5	1,010	3	P	0,950	564,888	1,067	0,007	1,000	1	11,429	1,141	1	1	1	5	1,143	1	0,93
SC108	112,050	114,250	3,5	1,010	2	C	1,008	1881,354	1,006	0,009	1,000	1	3,636	1,009	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	114,650	115,950	3,5	1,010	2	C	1,008	1111,709	1,018	0,009	1,000	1	7,692	1,080	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	116,100	119,700	3,5	1,010	2	C	1,008	3078,579	1,002	0,009	1,000	1	6,389	1,057	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	127,800	128,830	3,375	1,019	0	Sem	1,192	404,210	1,063	0,023	1,069	1	13,592	1,280	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	128,830	129,910	3,375	1,019	0	Sem	1,192	423,832	1,058	0,029	1,069	1	28,704	1,684	1	1	1	3	1,000	1	1
SC108	132,800	133,900	3,375	1,019	0	Sem	1,192	168,969	1,142	0,063	1,207	1,16	20,000	1,451	1	1	1	3	1,000	1	1
SC108	133,900	136,400	3,375	1,019	0	Sem	1,192	384,020	1,027	0,069	1,207	1,16	3,200	1,002	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	136,4	139	3,375	1,019	0	Sem	1,192	1504,738	1,007	0,035	1,105	1	3,077	0,999	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	139,000	139,750	3,3	1,058	1	P	1,087	367,281	1,096	0,027	1,081	1	20,000	1,604	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	140,000	140,250	3,3	1,058	1	P	1,087	122,427	1,861	0,027	1,081	1	20	4,465	1	1	1	3	1,000	1	1
SC108	140,500	143,750	3,3	1,058	1	P	1,087	1591,549	1,005	0,027	1,081	1	2,462	0,977	1	1	1	3	1,000	1	1
SC108	144,100	148,850	3,3	1,058	1	P	1,087	2326,111	1,081	0,027	1,081	1	4,842	1,062	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	205,800	209,500	3,5	1,005	1	P	1,043	666,649	1,011	0,063	1,189	1,16	3,784	1,042	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	209,500	217,000	3,5	1,005	1	P	1,043	1390,674	1,003	0,046	1,138	1,1	2,400	0,956	1	1	1	5	1,143	1	1
SC108	293,500	293,950	3,375	1,019	0	Sem	1,192	420,845	1,075	0,015	1,030	1	16,867	1,515	1	1	1	2	0,935	1	1
SC108	293,930	296,330	3,375	1,019	0	Sem	1,192	1216,902	1,009	0,015	1,030	1	4,167	1,040	1	1	1	6	1,222	1	1

SCI08	296,530	297,650	3,375	1,019	0	Sem	1,192	567,887	1,041	0,015	1,030	1	29,464	1,987	1	1	1	1	3	1,000
SCI08	297,650	301,800	3,375	1,019	0	Sem	1,192	2,104,226	1,003	0,015	1,030	1	2,169	0,965	1	1	1	1	5	1,143
SCI08	302,000	303,900	3,375	1,019	0	Sem	1,192	963,380	1,014	0,015	1,030	1	12,105	1,337	1	1	1	1	5	1,143
SCI08	304,350	307,100	3,375	1,019	0	Sem	1,192	1,394,366	1,007	0,015	1,030	1	3,273	1,006	1	1	1	1	5	1,143
SCI08	307,100	309,300	3,375	1,019	0	Sem	1,192	115,493	1,011	0,015	1,030	1	0,000	0,884	1	1	1	1	3	1,000
SCI08	309,300	310,700	3,375	1,019	0	Sem	1,192	709,859	1,027	0,015	1,030	1	0,000	0,884	1	1	1	1	3	1,000
SCI08	315,500	316,780	3,5	1,010	2	P	1,008	3055,775	1,007	0,011	1,006	1	10,938	1,148	1	1	1	1	5	1,143
SCI08	316,950	317,600	3,5	1,010	2	P	1,008	1551,761	1,026	0,011	1,006	1	6,154	1,058	1	1	1	1	5	1,143
SCI08	317,800	319,500	3,5	1,010	2	P	1,008	4058,451	1,004	0,011	1,006	1	8,824	1,108	1	1	1	1	6	1,222
SCI08	339,300	341,200	3,375	1,019	0	Sem	1,192	1600,911	1,009	0,023	1,069	1	3,684	1,015	1	1	1	1	5	1,143
SCI08	341,400	344,000	3,375	1,019	0	Sem	1,192	2190,721	1,005	0,023	1,069	1	5,385	1,060	1	1	1	1	5	1,143
SCI08	344,200	350,400	3,375	1,019	0	Sem	1,192	5224,027	1,001	0,023	1,069	1	5,484	1,062	1	1	1	1	6	1,222
SCI08	354,000	354,400	3,5	1,010	2	P	1,008	369,650	1,178	0,03	1,090	1	0,000	0,960	1	1	1	1	5	1,143
SCI08	355,700	356,850	3,5	1,010	2	P	1,008	1062,744	1,022	0,03	1,090	1	9,565	1,084	1	1	1	1	6	1,222
SCI08	359,000	359,800	3,5	1,010	2	P	1,008	739,300	1,045	0,03	1,090	1	18,750	1,203	1	1	1	1	6	1,222
SCI08	362,800	365,650	3,5	1,010	2	P	1,008	7422,408	1,001	0,013	1,018	1	13,684	1,077	1	1	1	1	6	1,222
SCI08	367,800	368,450	3,5	1,010	2	P	1,008	760,046	1,053	0,012	1,012	1	4,615	1,011	1	1	1	1	2	0,935
SCI08	369,350	369,800	3,5	1,010	2	P	1,008	526,186	1,111	0,012	1,012	1	13,333	1,075	1	1	1	1	5	1,143
SCI08	379,700	380,280	3,375	1,019	0	Sem	1,192	310,575	1,146	0,006	1,000	1	5,172	1,043	1	1	1	1	2	0,935
SCI08	380,530	381,480	3,375	1,019	0	Sem	1,192	508,701	1,055	0,006	1,000	1	13,684	1,220	1	1	1	1	3	1,000
SCI08	381,630	382,100	3,375	1,019	0	Sem	1,192	251,673	1,223	0,006	1,000	1	6,383	1,068	1	1	1	1	5	1,143
SCI08	382,900	384,400	3,375	1,019	0	Sem	1,192	1534,708	1,011	0,006	1,000	1	10,000	1,144	1	1	1	1	5	1,143
SCI08	384,700	385,200	3,375	1,019	0	Sem	1,192	511,569	1,103	0,006	1,000	1	22,000	1,394	1	1	1	1	5	1,143
SCI08	385,600	386,710	3,375	1,019	0	Sem	1,192	1135,684	1,021	0,006	1,000	1	18,018	1,311	1	1	1	1	3	1,000
SCI08	428,000	429,650	3,375	1,019	0	Sem	1,192	4975,686	1,003	0,003	1,000	1	1,818	0,942	1	1	1	1	2	0,935
SCI08	429,650	435,970	3,375	1,019	0	Sem	1,192	5669,267	1,002	0,003	1,000	1	2,532	0,974	1	1	1	1	2	0,935
SCI08	436,070	437,950	3,375	1,019	0	Sem	1,192	2864,789	1,010	0,003	1,000	1	4,255	1,052	1	1	1	1	2	0,935
SCI08	437,950	438,900	3,375	1,019	0	Sem	1,192	2864,789	1,010	0,003	1,000	1	21,053	1,813	1	1	1	1	2	0,935

**APÊNDICE I – CD01: CADASTRO DOS SEGMENTOS
HOMOGÊNEOS EM ARQUIVO KMZ E RESULTADOS
COMPLETOS POR SEGMENTOS HOMOGÊNEOS.**