

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**CALIBRAÇÃO DO MÉTODO DE PREVISÃO DE ACIDENTES
DO *HIGHWAY SAFETY MANUAL* (HSM) PARA TRECHOS
RODOVIÁRIOS DE PISTA DUPLA NO BRASIL**

DANIELE ROEWER LAGEMANN DA SILVA WAIHRICH

ORIENTADORA: MICHELLE ANDRADE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

**PUBLICAÇÃO:
BRASÍLIA/DF: MARÇO/2016**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**CALIBRAÇÃO DO MÉTODO DE PREVISÃO DE ACIDENTES DO
HIGHWAY SAFETY MANUAL (HSM) PARA TRECHOS RODOVIÁRIOS
DE PISTA DUPLA NO BRASIL**

DANIELE ROEWER LAGEMANN DA SILVA WAIHRICH

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TRANSPORTES.**

APROVADA POR:

Prof^a. Michelle Andrade, Dr. (UnB) (Orientadora)

Prof^a. Maria Alice Prudêncio Jacques, PhD. (UnB) (Examinador Interno)

Prof. Flávio José Craveiro Cunto, Dr. (UFC) (Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF: 03 de março de 2016.

FICHA CATALOGRÁFICA

ROEWER LAGEMANN DA SILVA WAIHRICH, DANIELE

Calibração do Método de Previsão de Acidentes do *Highway Safety Manual* (HSM) para Trechos Rodoviários de Pista Dupla no Brasil [Distrito Federal] 2016.

xvi, 132 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2016).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Modelos de Previsão de Acidentes

2. Segurança Viária

3. *Highway Safety Manual*

4. Calibração

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

WAIHRICH, D. R. L. S. (2016). Calibração do Método de Previsão de Acidentes do *Highway Safety Manual* (HSM) para Trechos Rodoviários de Pista Dupla no Brasil, Publicação. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação: T.DM – 006/2016, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 132 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Daniele Roewer Lagemann da Silva Waihrich

TÍTULO: Calibração do Método de Previsão de Acidentes do *Highway Safety Manual* (HSM) para Trechos Rodoviários de Pista Dupla no Brasil.

GRAU: Mestre ANO: 2016

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Daniele Roewer Lagemann da Silva Waihrich
Condomínio Vivendas Bela Vista, módulo B, casa 36 - Sobradinho
73.105-909 Brasília – DF - Brasil
dani_roewer@hotmail.com

*Dedico este trabalho ao meu marido, Eduardo,
aos meus pais, Paulo e Alira, e à minha irmã,
Amanda.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu marido e aos meus pais e irmã, meus maiores incentivadores. Obrigada pelo incentivo, paciência, compreensão e cumplicidade nessa etapa.

À toda a minha grande família, primos, tios, cunhados, sobrinhos, sogros e amigas-irmãs Lívia, Marília e Thalita, pelo carinho e incentivo nessa jornada.

Aos colegas do PPGT, obrigada pelo apoio e amizade. Em especial à Tharcia, nossa querida representante de turma, que tanto se empenhou e se dedicou ao grupo. Foi muito bom estar ao lado de vocês ao longo de todo esse metrado.

Aos colegas do DNIT, que me apoiaram a realizar este mestrado. Em especial aos amigos Rogério e Lucinei, que me auxiliaram na obtenção dos dados, ajuda esta indispensável para a realização da pesquisa.

Aos amigos Fernanda e Vinícius, pelo estímulo, pelas preciosas dicas e pela contagiante dedicação à ciência.

À Luciana Dellabianca, que muito me incentivou e influenciou com sua experiência e comprometimento ao ofício de servidora do DNIT. Obrigada pela confiança e apoio.

Ao DNIT, pela oportunidade de realizar este trabalho.

À orientadora Prof.^a Michelle Andrade, pela paciência, dedicação, incentivo, amizade e suas valiosas sugestões durante toda a condução do mestrado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Transportes (PPGT) da Universidade de Brasília, pelas oportunidades de crescimento e aprendizado. Aos professores Maria Alice e Paulo Cesar, pelas orientações e preciosas contribuições nos seminários apresentados.

À todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

CALIBRAÇÃO DO MÉTODO DE PREVISÃO DE ACIDENTES DO *HIGHWAY SAFETY MANUAL* (HSM) PARA TRECHOS RODOVIÁRIOS DE PISTA DUPLA NO BRASIL

Na promoção da segurança é importante o estabelecimento de recursos para uma avaliação quantitativa da segurança no ambiente viário. Os modelos preditivos de acidentes, a partir de técnicas estatísticas adequadas, estimam o número esperado de acidentes em diferentes momentos de um empreendimento viário, podendo, em especial, atuar preventivamente na segurança. No Brasil, o desenvolvimento de modelos preditivos de acidentes não está ainda bem instituído, havendo uma carência de modelos que quantifiquem a segurança em rodovias brasileiras. O manual americano *Highway Safety Manual* (HSM) apresenta um método preditivo para diferentes configurações viárias e inclui um procedimento de calibração do método, o que possibilita a sua transferência para outras localidades. Nesta dissertação foi realizada a calibração do método preditivo do HSM em rodovias de pista dupla nas regiões de Minas Gerais e Goiás/ Distrito Federal, tendo por resultado um Fator de Calibração para cada uma das regiões estudadas. Na avaliação da transferibilidade do modelo calibrado foram aplicadas medidas de qualidade de ajuste. Os resultados obtidos não confirmam a transferibilidade do modelo original do HSM calibrado nos cenários estudados, pois, embora tenham sido obtidos resultados satisfatórios na região MG, foram também observados resultados precários das medidas de qualidade de ajuste na região GO/DF. Dessa forma, neste estudo inicial em rodovias rurais de pista dupla no Brasil, a transferência do modelo HSM não se confirmou como uma alternativa efetiva, o que não descarta a possibilidade da obtenção de um modelo calibrado com algum grau de sucesso em outras rodovias e para outras regiões. Os retornos e faixas adicionais são dispositivos frequentes nos segmentos rodoviários estudados. Em função disso, foram delimitadas amostras alternativas que buscaram avaliar o impacto destes dispositivos na segurança, uma vez que os mesmos não são incluídos no modelo preditivo original do HSM. A partir desta análise, foram obtidos, apenas em nível exploratório, “Fatores de Modificação de Acidentes” específicos para estes dispositivos.

Palavras-chave: Modelos de previsão de acidentes; *Highway Safety Manual*; Calibração; Transferência; Acidentes; Rodovia de pista dupla; Segurança viária.

ABSTRACT

CALIBRATION OF THE ACCIDENT PREDICTION METHOD OF THE HIGHWAY SAFETY MANUAL (HSM) FOR MULTILANE HIGHWAYS IN BRAZIL

When promoting safety, it is important to establish resources to carry out a quantitative assessment of safety in the road environment. Accident predictive models, based on proper statistic technics, estimate the expected number of accidents in different moments of a road system, making it possible to act preventively in regards to safety. In Brazil, the development of accident predictive models has not been well established yet. We lack models that quantify safety in Brazilian highways. The American Highway Safety Manual – HSM – presents a predictive method for different road configurations and includes a procedure for method calibration, which enables its application in other parts of the world. In this dissertation, we have carried out the calibration of the HSM predictive method to multilane highways in the Minas Gerais and Goiás/Federal Ditricth regions, having a calibration factor for each studied region as a result. When validating the capacity of the model of being transferred, we have applied measures to assess the adjustment quality of the calibrated model. The results obtained did not confirm the transferability of the original HSM model, which was calibrated according to the studied scenarios. This occurred because, although we have obtained satisfactory results in the Minas Gerais region, we have observed disappointing results regarding the adjustment quality measures of the calibrated model in the GO/DF region. Thus, this initial study on rural multilane highways in Brazil did not confirm the transference of HSM model as an effective alternative. However, this does not rule out the possibility of obtaining a calibrated model with some degree of success in other highways and other regions. U-turns and Passing Lanes are common features in the studied highway segments. For that reason, we have selected alternative samples for the purpose of assessing the impact they had in safety, since they are not present in the original HSM predictive model. Following this analysis, we have obtained, only at an exploratory level, “accident modification factors” specific for such features.

Key-words: Accident prediction models; Highway Safety Manual; Calibration; Transference; Accidents; Multilane Highways; Road safety.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2. PROBLEMA.....	2
1.3. HIPÓTESE	4
1.4. OBJETIVO.....	4
1.5. JUSTIFICATIVA.....	5
1.6. MÉTODO.....	6
1.7. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	7
2. ESTUDOS BÁSICOS DE MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES DO HSM	9
2.1. A IMPORTÂNCIA DOS MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES	9
2.2. APRESENTAÇÃO DO MANUAL HSM	12
2.3. O MÉTODO DE PREVISÃO DE ACIDENTES DO HSM	14
2.3.1. FUNÇÕES DE DESEMPENHO DE SEGURANÇA	15
2.3.2. FATORES DE MODIFICAÇÃO DE ACIDENTES	16
2.3.3. FATOR DE CALIBRAÇÃO	17
2.3.4. MÉTODO EMPÍRICO DE BAYES	17
2.3.5. CLASSIFICAÇÃO DOS ACIDENTES POR NÍVEL DE SEVERIDADE	18
2.3.6. ETAPAS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO PREDITIVO	19
2.3.7. LIMITAÇÕES DO MÉTODO PREDITIVO DO HSM	21
2.4. ESTUDOS RELACIONADOS AO DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PREDITIVO DO HSM PARA TRECHOS RODOVIÁRIOS DE PISTA DUPLA	22
2.5. REVISÃO DE TRANSFERÊNCIAS DE MODELOS PREDITIVOS DO HSM	25
2.5.1. CALIBRAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DOS MODELOS PREDITIVOS DO HSM	25
2.5.2. ESTUDOS DA TRANSFERÊNCIA DE SPF _s DO HSM NO BRASIL	28
3. MÉTODO DE PREVISÃO DE ACIDENTES DO HSM PARA RODOVIAS DE PISTA DUPLA.....	32
3.1. MÉTODO PREDITIVO PARA RODOVIAS RURAIS DE PISTA DUPLA.....	32
3.1.1. DIVISÃO EM ELEMENTOS VIÁRIOS INDIVIDUAIS	33
3.1.2. SPF PARA TRECHOS HOMOGÊNEOS DE RODOVIAS RURAIS DE PISTA DUPLA... 36	
3.1.3. CMF _s PARA TRECHOS HOMOGÊNEOS DE RODOVIAS RURAIS DE PISTA DUPLA	38
3.1.4. INTERSEÇÕES EM RODOVIAS RURAIS DE PISTA DUPLA.....	43
3.2. MÉTODO EMPÍRICO DE BAYES	44

3.2.1.	APLICAÇÃO DO MÉTODO EB POR ELEMENTO INDIVIDUAL.....	45
3.2.2.	APLICAÇÃO DO MÉTODO EB AO CONJUNTO DE ELEMENTOS.....	47
3.2.3.	APLICAÇÕES DO MÉTODO EB EM PROJEÇÕES FUTURAS.....	47
3.3.	MÉTODO DE CALIBRAÇÃO	49
3.4.	MEDIDAS DE QUALIDADE DE AJUSTE DOS MODELOS CALIBRADOS.....	51
3.5.	AJUSTES NA METODOLOGIA DO HSM PARA EFEITO DA APLICAÇÃO EM RODOVIAS BRASILEIRAS DE PISTA DUPLA	53
4.	CALIBRAÇÃO DO MÉTODO PREDITIVO DO HSM PARA TRECHOS RODOVIÁRIOS DE PISTA DUPLA NO BRASIL.....	56
4.1.	CONSIDERAÇÕES DA APLICAÇÃO DO MÉTODO PREDITIVO DO HSM	56
4.1.1.	SELEÇÃO DAS RODOVIAS PARA O ESTUDO	56
4.1.2.	IDENTIFICAÇÃO DOS TRECHOS HOMOGÊNEOS	58
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DOS TRECHOS EM ESTUDO	59
4.3.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	67
4.3.1.	APLICAÇÃO DIRETA DO MODELO PREDITIVO (SEM CALIBRAR).....	68
4.3.2.	CENÁRIO 1: AMOSTRA PADRÃO	71
4.3.3.	CENÁRIO 2: AMOSTRA PADRÃO <i>VERSUS</i> AMOSTRA TOTAL.....	83
4.3.4.	CENÁRIO 3: AMOSTRAS RETORNOS E FAIXAS ADICIONAIS	94
5.	CONCLUSÕES	104
5.1.	PRINCIPAIS CONCLUSÕES	105
5.2.	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	106
5.3.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	107
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
A.	APÊNDICE - PLANILHAS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Arredondamento para segmentação de trechos homogêneos referente à largura do canteiro central	34
Tabela 3.2 - Arredondamento para segmentação de trechos homogêneos referente à largura do acostamento	35
Tabela 3.3 - Arredondamento para segmentação de trechos homogêneos referente à largura da faixa de rolamento	35
Tabela 3.4 - Coeficientes de regressão para equações de trechos homogêneos de pista dupla	37
Tabela 3.5 - Distribuição padrão de acidentes por tipo e nível de severidade, para trechos homogêneos rodoviários de pista dupla	37
Tabela 3.6 – Condições ‘base’ da SPF para trechos de rodovias rurais de pista dupla.....	38
Tabela 3.7 – Fatores de Modificação de Acidentes para trechos em rodovias rurais de pista dupla	38
Tabela 3.8 - Valores do CMF_{RA} para tipos de acidentes relacionados à largura da faixa de rolamento em rodovias rurais de pista dupla.....	39
Tabela 3.9 - CMF para tipos de acidentes associados à largura do acostamento (CMF_{WRA}) ..	40
Tabela 3.10 - CMF para tipos de acidentes associados à largura e tipo de revestimento do acostamento (CMF_{TRA})	41
Tabela 3.11 - CMF para diferentes larguras do acostamento externo, em metros, em rodovias de pista dupla com divisão central (CMF_{2rd}).....	41
Tabela 3.12 – CMF para a inclinação do talude lateral (CMF_{3ru})	42
Tabela 3.13 – CMF para a largura do canteiro central, em metros, em rodovias de pista dupla com divisão central (CMF_{3rd})	42
Tabela 3.14 – Proporção de acidentes noturnos para trechos sem iluminação	43
Tabela 3.15 – Características necessárias para calibração do modelo de previsão de acidentes para rodovias rurais de pista dupla	50
Tabela 3.16 – Medidas de qualidade de ajuste empregadas em trabalhos relacionados à transferência das SPFs do HSM	51
Tabela 4.1 – Segmentos rodoviários de pista dupla selecionados para o estudo	56
Tabela 4.2 – Divisão em trechos homogêneos da BR 040/MG (nº. 1)	60
Tabela 4.3 – Divisão em trechos homogêneos da BR 050/MG (nº. 3)	61
Tabela 4.4 - Divisão em trechos homogêneos da BR 050/MG (nº. 4).....	62

Tabela 4.5 - Divisão em trechos homogêneos da BR 060/DF (nº. 5)	63
Tabela 4.6 - Divisão em trechos homogêneos da BR 060/GO (nº. 6)	64
Tabela 4.7 - Divisão em trechos homogêneos da BR 153/GO (nº. 7)	66
Tabela 4.8- Número previsto de acidentes (modelo não calibrado) e os Fatores de Modificação de Acidentes multiplicados (ICMF) por TH, região MG, 2011 a 2013	69
Tabela 4.9 - Número previsto de acidentes (modelo não calibrado) e os Fatores de Modificação de Acidentes multiplicados (ICMF) por TH, região GO/DF, 2011 a 2013	70
Tabela 4.10 - Fator de Calibração obtido por rodovia e por região para o Cenário 1: Amostra Padrão.....	71
Tabela 4.11 – Resultados da utilização do modelo calibrado e aplicação do método EB, por TH – Amostra Padrão, região MG (2011 a 2013).....	72
Tabela 4.12 – Resultados da utilização do modelo calibrado e da aplicação do método EB, por TH – Amostra Padrão, região GO/DF (2011 a 2013)	72
Tabela 4.13 - Resultado da aplicação do modelo preditivo por região (Amostra Padrão).....	73
Tabela 4.14 - Medidas de qualidade de ajuste no Cenário 1 (Amostra Padrão), regiões MG e GO/DF	73
Tabela 4.15 - Fator de Calibração por rodovia e por região para o Cenário 2: Amostra Total e Amostra Padrão	83
Tabela 4.16 - Resultado da aplicação do modelo preditivo por região para o Cenário 2: Amostra Total e Amostra Padrão	84
Tabela 4.17 - Medidas de qualidade de ajuste no Cenário 2 (Amostra Total e Amostra Padrão), regiões MG e GO/DF	84
Tabela 4.18 - Fator de Calibração obtido por rodovia e por região para o Cenário 3: Amostra Retornos e Amostra Faixas Adicionais	94
Tabela 4.19 – Resultado da aplicação do modelo preditivo por região para o Cenário 3: Amostra Retornos e Amostra Faixas Adicionais	95
Tabela 4.20 - Resultado da aplicação do modelo preditivo por região para o Cenário 3: Amostra Retornos e Amostra Faixas Adicionais	95
Tabela 4.21 – CMF_R indicativo nas regiões MG e GO/DF	100
Tabela 4.22 – CMF_{FA} indicativo nas regiões MG e GO/DF	103
Tabela A.1 – Segmentação da BR 040/MG (nº. 1): principais características dos THs	113
Tabela A.2– Segmentação da BR 050/MG (nº. 3): principais características dos THs	114
Tabela A.3– Segmentação da BR 050/MG (nº. 4): principais características dos THs	115

Tabela A.4 – Segmentação da BR 060/DF (nº. 5): principais características dos THs	116
Tabela A.5 – Segmentação da BR 060/GO (nº. 6): principais características dos THs.....	116
Tabela A.6 – Segmentação da BR 153/GO (nº. 7): principais características dos THs.....	117
Tabela A.7 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (MG) – Amostra Padrão.....	118
Tabela A.8 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (GO/DF) – Amostra Padrão	119
Tabela A.9 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (MG) – Amostra Total	120
Tabela A.10 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (GO/DF) – Amostra Total	122
Tabela A.11 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (MG) – Amostra Retornos	123
Tabela A.12 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (GO/DF) – Amostra Retornos	124
Tabela A.13 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (MG) – Amostra FA	125
Tabela A.14 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (GO/DF) – Amostra FA.....	125
Tabela A.15 – Resultado da aplicação do Método EB, por região (MG) – Amostra Padrão	125
Tabela A.16 – Resultado da aplicação do Método EB, por região (GO/DF) – Amostra Padrão	126
Tabela A.17 – Resultado da aplicação do Método EB, por região (MG) – Amostra Total ...	127
Tabela A.18 - Resultado da aplicação do Método EB, por região (GO/DF) – Amostra Total	129
Tabela A.19 - Resultado da aplicação do Método EB, por região (MG) – Amostra Retornos	130
Tabela A.20 - Resultado da aplicação do Método EB, por região (GO/DF) – Amostra Retornos	131
Tabela A.21 - Resultado da aplicação do Método EB, por região (MG) – Amostra Faixas Adicionais.....	132
Tabela A.22 - Resultado da aplicação do Método EB, por região (GO/DF) – Amostra Faixas Adicionais.....	132

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Etapas de aplicação do método de previsão do HSM.....	19
Figura 3.1 - Definição de trechos homogêneos e interseções	33
Figura 3.2 – Trecho com dois retornos e variação na largura do canteiro central	54
Figura 3.3 – Trecho com faixa adicional.....	54
Figura 4.1 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região MG e para a Amostra Padrão (TH 1.1 ao TH 3.20).....	75
Figura 4.2 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região MG e para a Amostra Padrão (TH 3.21 ao TH 4.29).....	75
Figura 4.3 - N_{previsto} versus $N_{\text{observado}}$, região MG, Amostra Padrão.....	76
Figura 4.4 - N_{esperado} versus $N_{\text{observado}}$, região MG, Amostra Padrão.....	76
Figura 4.5 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Padrão (TH 1.1 ao TH 3.5)	77
Figura 4.6 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Padrão (TH 3.7 ao TH 4.2)	77
Figura 4.7 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Padrão (TH 4.3 ao TH 4.29)	78
Figura 4.8 - Fator de Calibração pontual (F_p), por TH, na região GO/DF e para a Amostra Padrão (TH 5.1 ao TH 7.3).....	79
Figura 4.9 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região GO/DF e para a Amostra Padrão (TH 7.5 ao TH 7.33).....	79
Figura 4.10 - N_{previsto} versus $N_{\text{observado}}$, região GO/DF, Amostra Padrão.....	80
Figura 4.11 - N_{esperado} versus $N_{\text{observado}}$, região GO/DF, Amostra Padrão	80
Figura 4.12 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região GO/DF, Amostra Padrão (TH 5.1 ao TH 7.3).....	81
Figura 4.13 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região GO/DF, Amostra Padrão (TH 7.5 ao TH 7.33).....	81
Figura 4.14 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região MG na Amostra Total (TH 1.1 ao TH 3.7).....	85
Figura 4.15 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região MG na Amostra Total (TH 3.8 ao TH 4.4).....	86

Figura 4.16 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região MG na Amostra Total (TH 4.5 ao TH 4.29).....	86
Figura 4.17- N_{previsto} versus $N_{\text{observado}}$, região MG, Amostra Total.	87
Figura 4.18 - N_{esperado} versus $N_{\text{observado}}$, região MG, Amostra Total.	87
Figura 4.19 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Total (TH 1.1 ao TH 3.7)	88
Figura 4.20 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Total (TH 3.8 ao TH 4.4)	88
Figura 4.21 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Total (TH 4.5 ao TH 4.29)	89
Figura 4.22 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região GO/DF e para a Amostra Total (TH 5.1 ao TH 6.23).....	90
Figura 4.23 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região GO/DF e para a Amostra Total (TH 7.1 ao TH 7.33).....	90
Figura 4.24 - N_{previsto} versus $N_{\text{observado}}$, região GO/DF, Amostra Total.....	91
Figura 4.25 - N_{esperado} versus $N_{\text{observado}}$, região GO/DF, Amostra Total.....	91
Figura 4.26 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região GO/DF, Amostra Total (TH 5.1 ao TH 6.13).....	92
Figura 4.27 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região GO/DF, Amostra Total (TH 6.14 ao TH 7.11).....	92
Figura 4.28 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região GO/DF, Amostra Total (TH 7.12 ao TH 7.33).....	93
Figura 4.29 – Fator de Calibração pontual, por TH, na região MG e para a Amostra Retornos	97
Figura 4.30 – Fator de Calibração pontual, por TH, na região GO/DF e para a Amostra Retornos	97
Figura 4.31 – N_{previsto} versus $N_{\text{observado}}$, região MG, Amostra Retornos.	98
Figura 4.32 – N_{previsto} versus $N_{\text{observado}}$, região GO/DF, Amostra Retornos.....	98
Figura 4.33 – Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Retornos	99
Figura 4.34 – Números de acidentes de 2011 a 2013, região GO/DF, Amostra Retornos	99
Figura 4.35 – Fator de Calibração pontual, por TH, na região MG e para a Amostra Faixas Adicionais.....	101
Figura 4.36 – Fator de Calibração pontual, por TH, na região GO/DF e para a Amostra Faixas Adicionais.....	101

Figura 4.37 – N_{previsto} <i>versus</i> $N_{\text{observado}}$, região MG, Amostra Faixas Adicionais	101
Figura 4.38 – N_{previsto} <i>versus</i> $N_{\text{observado}}$, região GO/DF, Amostra Faixas Adicionais.	102
Figura 4.39 – Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Faixas Adicionais	102
Figura 4.40 – Números de acidentes de 2011 a 2013, região GO/DF, Amostra Faixas Adicionais.....	102

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

4D	Rodovia de pista dupla com divisão central (<i>Divided four-lane roadway segment</i>)
4U	Rodovia de pista dupla sem divisão central (<i>Undivided four-lane roadway segment</i>)
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
BR Legal	Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária do DNIT
CMF	Fator de modificação de acidentes (<i>Crash Modification Factors</i>)
CURE	Gráfico de Resíduos Acumulados (<i>Cumulative Residuals</i>)
C_x	Fator de Calibração do método preditivo
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DOT	Departamento de Transportes nos EUA (<i>United States Department of Transportation</i>)
DSF	Dispositivo de Separação Física
HSM	Manual americano de Segurança Viária (<i>Highway Safety Manual</i>)
ITS	Sistemas Inteligentes de transportes (<i>Intelligent Transportation Systems</i>)
KABCO	Escala de gravidade das lesões em um acidente viário
MAD	Desvio Médio Absoluto (<i>Mean absolute deviance</i>)
MAPE	Medida de Erro Percentual Absoluto Médio (<i>Mean absolute percentage error</i>)
Método EB	Método Empírico de Bayes
F_p	Fator de Calibração pontual
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
RPD	Rodovia de pista dupla
<i>rd</i>	Rodovia de pista dupla com divisão central (<i>Divided Roadway</i>)
RMSE	Raiz do Erro Médio Quadrático
<i>ru</i>	Rodovia de pista dupla sem divisão central (<i>Undivided Roadway</i>)
SPF	Função de Desempenho de Segurança (<i>Safety Performance Functions</i>)
SNV	Sistema Nacional de Viação
TH	Trecho homogêneo
VMDA	Volume médio diário anual de tráfego

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os acidentes viários impõem um custo muito alto para a sociedade. São a principal causa de fatalidades prematuras de jovens na faixa etária de 15 a 29 anos em todo o mundo. Além dos evidentes danos humanos e familiares, em termos monetários, os acidentes impactam ainda na economia do país, sendo estimado que, em média, os países em desenvolvimento tem um gasto anual relacionado aos acidentes de trânsito de 1% a 2% do seu Produto Interno Bruto (OMS, 2013).

Segundo dados da OMS, todos os anos morrem no mundo cerca de 1,24 milhão de pessoas em decorrência da violência no trânsito, enquanto 20 a 50 milhões ficam feridas. A OMS (2013) informa ainda que, se políticas eficientes de segurança viária não forem adotadas, em 2030 as fatalidades no trânsito poderão alcançar cerca de 2,4 milhões de mortes ao ano. Tal cenário é ainda mais alarmante nos países em desenvolvimento, onde o risco de envolvimento em acidentes é de 5 a 10 vezes maior que nos países desenvolvidos (DNIT, 2004). No Relatório Mundial sobre a segurança rodoviária há a constatação de que os países em desenvolvimento concentram cerca de 80% das mortes no trânsito, apesar de possuírem apenas cerca de 50% dos veículos registrados no mundo. Em termos absolutos, o Brasil tem o terceiro maior número de mortes no trânsito, atrás somente da Índia e China (OMS, 2013).

Este cenário da acidentalidade no trânsito no Brasil e em todo o mundo coloca a segurança viária em foco, motivando estudos que busquem promover a segurança no ambiente viário. A Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), realizada em 2010, definiu o período de 2011 a 2020 como a Década de Ação para a Segurança Viária, indicando medidas a serem adotadas pelos países para a redução do número e da severidade dos acidentes (ONU, 2010).

Na promoção da segurança viária é essencial o estabelecimento de procedimentos de avaliação quantitativa do desempenho da segurança. No que tange a engenharia de tráfego, os modelos matemáticos de previsão da frequência de acidentes, que estimam o número de acidentes esperados em um segmento específico e sob determinadas condições de exposição e

de risco, são ferramentas importantes na busca da redução da acidentalidade (Cardoso, 2006), auxiliando na gestão da segurança, nos processos de tomada de decisão no planejamento, operação e manutenção dos empreendimentos viários.

Nesse contexto, a reconhecida instituição americana *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) publicou no ano de 2010 o *Highway Safety Manual* - HSM (Manual de Segurança Viária), um documento que apresenta modelos de previsão de acidentes para trechos viários e interseções para diferentes situações viárias: rodovias de pista simples, rodovias de múltiplas faixas e vias arteriais urbanas e suburbanas.

Conceitualmente, as vias de múltiplas faixas são as vias que possuem mais de uma faixa de trânsito por sentido da circulação, podendo ser de pista dupla (com canteiro central ou outro dispositivo de separação física entre os fluxos opostos) ou não, quando os fluxos opostos são separados apenas pela sinalização horizontal. Neste trabalho faremos referência às vias de múltiplas faixas como rodovias de pista dupla (RPD), diferenciando por RPD com divisão central ou RPD sem divisão central.

1.2. PROBLEMA

Em um país como o Brasil, onde a acidentalidade no trânsito atinge números alarmantes, deve-se buscar constituir programas eficazes de gerenciamento da segurança viária. Para isso, é importante o estabelecimento de uma metodologia de avaliação da segurança em rodovias, permitindo uma melhoria da segurança e a redução dos custos diretos e indiretos associados aos acidentes de trânsito.

Sabendo que há uma forte relação entre o número e a gravidade de acidentes viários e as características físicas, geométricas e operacionais da via onde ocorrem (Ferraz *et al.*, 2012), é importante o desenvolvimento de métodos que busquem catalogar e quantificar esta relação, a fim de fornecer ferramentas para uma avaliação objetiva da segurança inerente ao transporte.

O Manual de Segurança Viária HSM (AASHTO, 2010) possui uma metodologia de avaliação quantitativa da segurança em uma via, permitindo prever o número de acidentes potenciais em segmentos rodoviários. Apesar de ter sido desenvolvido para utilização nos EUA, o método apresenta um procedimento de calibração que possibilita a sua utilização em outros locais.

Tendo em vista a carência de metodologia brasileira e reconhecendo a excelência dos estudos americanos nos sistemas rodoviários, a utilização do HSM devidamente calibrado parece ser uma boa opção.

Contudo, existem poucos estudos que verificam a aplicabilidade do método do HSM para a realidade brasileira. Na literatura verificada foram encontrados somente dois trabalhos que buscaram avaliar a transferibilidade do método preditivo do HSM para diferentes elementos viários brasileiros: Silva (2011) apresentou um procedimento de calibração do modelo do HSM em rodovias rurais de pista simples no estado de São Paulo e Cunto *et al.* (2015) apresentaram os resultados da calibração do modelo do HSM em interseções em vias arteriais urbanas de Fortaleza e avaliaram o desempenho do modelo calibrado. Nenhum estudo a respeito da aplicação do HSM para rodovias brasileiras de pista dupla foi identificado. Entretanto, existem estudos realizados em outros países com este propósito, como por exemplo Sun *et al.* (2011) e Banihashemi, (2012), que revelam a importância da calibração do modelo do HSM para rodovias de pista dupla.

As rodovias de pista dupla (RPDs), apesar de representarem uma parcela menor das rodovias brasileiras em termos de extensão total, são bastante importantes na logística rodoviária brasileira e abarcam um número expressivo da acidentalidade rodoviária no país. A importância das RPDs é evidenciada nos dados do IPEA (2010), que estabelece que, no ano de 2010, 90% das RPDs brasileiras estavam sob regime de concessão e, embora representassem cerca de 9% da malha rodoviária nacional, recebiam em torno de 40% do tráfego de veículos nas rodovias brasileiras. Do ponto de vista da segurança, conforme dados da Polícia Rodoviária Federal no ano de 2013, metade dos acidentes ocorridos em rodovias federais brasileiras naquele ano ocorreram em rodovias de pista dupla (ou de múltiplas faixas).

Recentemente, em 2012, o governo federal lançou um novo programa de concessões rodoviárias, o Programa de Investimentos em Logística - PIL, que estabelece a concessão de 7 mil km de rodovias à iniciativa privada. Este programa de concessões, que se encontra em andamento, prevê para os próximos anos obras de aumento de capacidade (duplicação) em uma extensão superior à 4 mil quilômetros (PIL, 2015). Ainda, segundo dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2015), no período de 1990 a

2010 a malha rodoviária federal de RPDs aumentou cerca de 260%, apresentando em 2010 um total de 4.519,3 km de rodovias duplicadas.

Dessa forma, buscando contribuir cientificamente com a avaliação da segurança em RPDs, o presente estudo propõe a avaliação do método de previsão de acidentes do HSM, respondendo à seguinte questão: O método do HSM pode ser empregado para prever o número de acidentes em trechos rodoviários rurais de pista dupla no Brasil?

1.3. HIPÓTESE

O método de previsão de acidentes do HSM, com seus modelos calibrados segundo as diretrizes estabelecidas no Manual, permite prever o número de acidentes em trechos rodoviários rurais de pista dupla no Brasil.

1.4. OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo geral avaliar a transferibilidade do método de previsão de acidentes do HSM para trechos rodoviários rurais de pista dupla brasileiros, buscando uma avaliação quantitativa da segurança potencial nestes elementos viários.

Os objetivos específicos são:

- i. Consolidação de uma ampla base de dados de trechos rodoviários em RPDs, em diferentes regiões, contendo: histórico de acidentes, volumes de tráfego e características geométricas e operacionais;
- ii. Estimar a frequência de acidentes em trechos homogêneos de rodovias brasileiras de pista dupla adotando os modelos do HSM sob três condições distintas: sem calibrar; calibrar para obter a frequência prevista; calibrar e fazer uso do método empírico de Bayes para obter a frequência esperada.
- iii. Fazer uma análise comparativa, por meio de técnicas estatísticas apropriadas, entre as frequências obtidas com o método do HSM e as frequências observadas nos segmentos considerados, individualmente e no conjunto, para cada rodovia estudada, verificando se a discrepância encontrada permite recomendar a aplicação do método para as rodovias brasileiras de pista dupla.

1.5. JUSTIFICATIVA

Diante da sinistralidade do sistema rodoviário há a necessidade urgente de se tratar a segurança viária de forma sistematizada e objetiva, visando minimizar os prejuízos econômicos e sociais decorrentes dos acidentes (Nodari, 2003). As técnicas que permitem uma avaliação quantitativa da segurança nos segmentos viários são ferramentas importantes na tomada de decisão no desempenho da segurança, podendo ser aplicadas nas diversas fases de um empreendimento viário (planejamento, projeto, construção, operação e manutenção).

O estudo de modelagem de acidentes no Brasil é ainda incipiente (Barbosa *et al.*, 2014). São poucos os estudos de modelos matemáticos que busquem representar de forma adequada o potencial da acidentalidade em segmentos viários brasileiros. Esta ausência pode ser explicada pela dificuldade inerente ao processo de desenvolvimento de modelos específicos de previsão de acidentes. A concepção destes modelos dispense um grande esforço e requer um banco de dados bastante extenso e confiável, com informações das características geométricas e operacionais das vias ao longo dos anos, dados do volume de tráfego e um cadastro completo do histórico de acidentes, o que muitas vezes não está disponível.

Dessa forma, a transferência de modelos preditivos para regiões diferentes daquela onde o método foi desenvolvido pode ser uma alternativa menos onerosa e mais viável do que o desenvolvimento de modelos específicos para cada local (Barbosa *et al.*, 2014).

O Manual de Segurança Viária HSM (AASHTO, 2010) traz uma abordagem analítica para quantificação da segurança em segmentos viários a partir de modelos de previsão do número de acidentes. A metodologia do HSM foi desenvolvida segundo parâmetros físicos e operacionais do ambiente viário dos Estados Unidos. No entanto, o Manual americano indica um método para a calibração do modelo, permitindo a sua utilização em outros locais.

Sendo o manual HSM uma publicação bastante recente, são ainda poucos os estudos da sua aplicabilidade em regiões fora dos Estados Unidos. No caso específico do Brasil, os estudos realizados por Silva (2011) e Cunto *et al.* (2015) indicam que a aplicação do método preditivo americano em elementos viários brasileiros produz resultados encorajadores, ainda que estes apontem a importância de investigações adicionais. Não foram identificados estudos da transferência do modelo do HSM em rodovias rurais de pista dupla brasileiras.

Dessa forma, o presente trabalho se propõe a avaliar a adequabilidade da transferência do método preditivo do HSM para trechos rodoviários rurais de pista dupla no Brasil.

1.6. MÉTODO

Este estudo é de natureza aplicada, predominantemente quantitativo, e cumpriu as etapas metodológicas descritas a seguir:

Etapa 1: Inicialmente foi realizada uma revisão teórica dos aspectos gerais da acidentalidade viária e das técnicas de modelagem dos acidentes e um estudo aprofundado do modelo de previsão de acidentes do HSM, com atenção aos trabalhos relacionados ao desenvolvimento do HSM e à aplicação dos modelos do Manual;

Etapa 2: Foram selecionadas rodovias rurais de pista dupla nos estados de Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal, nas quais foi consultado o histórico de acidentes em um período de três anos e foram verificadas as características geométricas, operacionais e de tráfego, formando a base de dados do estudo;

Etapa 3: As rodovias em análise foram divididas em trechos homogêneos, seguindo as diretrizes do Manual. Em sequência, foi possível aplicar o modelo preditivo em cada elemento, obtendo o número previsto de acidentes (sem calibração);

Etapa 4: Foi calculado o Fator de Calibração, a partir da comparação dos resultados da função original do HSM (sem calibrar) e dos números do histórico de acidentes nos trechos homogêneos em análise, para cada região e para diferentes amostras delimitadas. A amostra denominada Padrão é restrita aos trechos homogêneos em conformidade com as diretrizes do HSM e atua na investigação da hipótese inicial deste estudo. Foram ainda avaliados cenários alternativos, em nível exploratório, com a calibração de amostras que incluíram dispositivos de retornos e faixas adicionais, os quais não são contemplados pelo modelo preditivo do HSM em RPDs;

Etapa 5: Os modelos calibrados (por região e para as diferentes amostras) foram aplicados aos respectivos conjuntos de trechos homogêneos, obtendo o número previsto de acidentes por rodovia e para cada região, nas diferentes amostras. Para um aprimoramento do modelo do

HSM foi aplicado o método Empírico de Bayes (EB) às rodovias analisadas em cada uma das amostras, a partir da combinação do número de acidentes calculado através do método preditivo e do número de acidentes observados naquele período (histórico de acidentes);

Etapa 6: Foram aplicadas medidas estatísticas para a avaliação da qualidade de ajuste dos modelos calibrados, em cada amostra e para as diferentes regiões, em uma análise comparativa das frequências observadas de acidentes e dos resultados obtidos sob duas condições distintas (HSM calibrado e HSM calibrado e refinado com o método EB), individualmente e no conjunto. Nesta etapa foram calculados ainda, em caráter exploratório inicial, Fatores de Modificação de Acidentes para os dispositivos de retornos e faixas adicionais;

Etapa 7: Por fim, foram apresentadas as principais conclusões obtidas neste estudo, relacionadas à utilização da metodologia HSM para rodovias rurais de pista dupla brasileiras, e foram apresentadas recomendações para trabalhos futuros.

1.7. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos.

O Capítulo 1 é introdutório, aborda a importância da segurança rodoviária e apresenta a justificativa, objetivos e o método adotado para a realização do trabalho.

O Capítulo 2 contém uma revisão teórica relacionada aos modelos de previsão de acidentes do HSM. Inicialmente é apresentada uma discussão geral sobre a importância dos modelos de previsão de acidentes na promoção da segurança. Em sequência, consta uma apresentação ampla do HSM, com os principais conceitos e metodologias relacionados à segurança viária que integram o Manual, com a apresentação da estrutura do modelo preditivo em questão. São ainda apresentados estudos relacionados ao desenvolvimento do método preditivo do HSM para trechos rodoviários rurais de pista dupla. E ainda, em uma revisão da transferência de modelos preditivos do HSM, são apresentados trabalhos já realizados referentes à calibração e transferência dos modelos do HSM em diferentes localidades, inclusive no Brasil.

No Capítulo 3 é apresentada detalhadamente a metodologia de previsão do número de

acidentes do HSM para trechos rodoviários rurais de pista dupla, assim como o método de calibração e a aplicação do método Empírico de Bayes. São apresentadas resumidamente as principais medidas de qualidade de ajuste empregadas nos estudos consultados de transferência de modelos preditivos. Por fim, são indicados alguns ajustes necessários à metodologia do HSM para efeito da aplicação nas rodovias brasileiras de pista dupla selecionadas neste estudo.

No Capítulo 4 consta a delimitação do estudo, contém a calibração do método preditivo do HSM para trechos rodoviários de pista dupla no Brasil nas diferentes amostras delimitadas e, ainda, a apresentação e discussão dos resultados. Inicialmente são caracterizados os segmentos rodoviários incluídos no estudo e as fontes de informações utilizadas. Em sequência, são expostos os resultados da aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM, seguindo as etapas 2 a 6 descritas no Método. Na análise e discussão dos resultados da pesquisa é avaliada a adequabilidade da transferência do modelo preditivo americano para trechos rodoviários rurais de pista dupla no Brasil a partir da aplicação de medidas de qualidade de ajuste aos dados do estudo. A partir de uma iniciativa estritamente exploratória da aplicação do modelo preditivo original do HSM em retornos e faixas adicionais, são apresentados os Fatores de Modificação de Acidentes obtidos neste estudo para estes dispositivos;

Por fim, no Capítulo 5 são feitas as considerações sobre a aplicação da metodologia e são apontadas orientações para futuras investigações.

2. ESTUDOS BÁSICOS DE MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES DO HSM

O acidente de trânsito pode ser conceituado como “ocorrência fortuita ou não, em decorrência do envolvimento em proporções variáveis do homem, do veículo, da via e demais elementos circunstanciais, da qual tenha resultado ferimento, dano, estrago, avaria, ruína, etc.” (DNIT, 2010). Nesta dissertação, os termos acidentes de trânsito e acidentes viários são utilizados de forma análoga, tendo por foco os acidentes que ocorrem no ambiente rodoviário.

2.1. A IMPORTÂNCIA DOS MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES

Com o avanço do conhecimento sobre segurança viária, novas técnicas de avaliação da segurança são empregadas. Em um primeiro momento, as análises descritivas da acidentalidade eram usadas na tentativa de refletir os padrões de segurança em um ambiente viário. Este tipo de análise trabalha de forma simplificada os dados de acidentes já ocorridos e os apresenta em distintas formas, como a frequência de acidentes, taxas de acidentes, entre outros, não incluindo um enquadramento estatístico preditivo das ocorrências. Contudo, a utilização direta destes índices na mensuração da segurança pressupõe incorretamente uma relação linear entre a frequência de acidentes e as medidas de exposição. Porém, embora muitas vezes haja uma relação forte entre a frequência de acidentes e as diferentes medidas de exposição, essas relações são geralmente não-lineares (AASHTO, 2010).

Com relação à natureza dos acidentes viários, tais eventos têm um forte componente aleatório e são episódios tipicamente raros (Miaou & Lum, 1993). A frequência de acidentes em um local naturalmente tem uma tendência a variar para cima e para baixo, ao longo do tempo, convergindo para um valor médio somente em longo prazo, fenômeno este conhecido como regressão à média, confirmando o caráter aleatório deste tipo de evento (AASHTO, 2010). Dessa forma, devido à aleatoriedade na ocorrência de acidentes, as frequências de curto prazo por si só não são um estimador confiável da acidentalidade para um longo período. A análise da segurança a partir de relações de causa-efeito (análises antes-depois) simplificadas correm um grande risco de incorrer em imprecisões importantes, podendo haver uma superestimação do efeito de uma intervenção em relação à redução de acidentes (Elvik, 2002).

Buscando atenuar o efeito da aleatoriedade no número de acidentes observados, têm destaque os modelos estatísticos de previsão do número de acidentes (Hauer, 2002, *apud* Barbosa *et al.*, 2014), também conhecidos como Funções de Desempenho de Segurança (SPFs, do termo em inglês *Safety Performance Functions*). Estes modelos têm por objetivo maior melhorar as análises de segurança viária, permitindo um maior controle das características inerentes aos acidentes viários, em especial dos efeitos da regressão à média nas frequências de acidentes. De acordo com Davis (2004), um pressuposto subjacente dos modelos preditivos é que os acidentes são individualmente imprevisíveis, porém, o conjunto de dados de acidentes ocorridos em um segmento viário pode produzir padrões estatísticos previsíveis. O Manual HSM aborda esta questão e reforça que, a partir de esforços no campo da segurança viária, ganham força as análises preditivas quantitativas que, a partir de técnicas estatísticas adequadas, estimam o número esperado de acidentes em diferentes momentos de um empreendimento viário (condições existentes, condições futuras e alternativas de projetos) (AASHTO, 2010).

Uma das principais justificativas para o uso de modelos preditivos de acidentes viários é a possibilidade de atuar preventivamente na promoção da segurança. Os modelos preditivos permitem a estimativa do desempenho de segurança em projetos viários ainda na fase de concepção e planejamento, antes da sua implantação, subsidiando a análise de diferentes opções de projeto e privilegiando alternativas mais seguras (Boffo, 2011). Estas estimativas de acidentes são dedicadas à avaliação do potencial de segurança de elementos viários, podendo ser aplicadas para avaliar a eficácia de medidas corretivas na melhoria da segurança e para selecionar os locais de rodovias com maior potencial para acidentes e que poderiam se beneficiar de medidas corretivas (Mountain *et al.* 1996).

A importância em estabelecer modelos de previsão que representem o potencial de acidentes de segmentos rodoviários é reafirmada por diversos autores, ao longo das últimas décadas (Ivey *et al.*, 1981; Mountain *et al.*, 1996; Poch & Mannering, 1996; Sawalha & Sayed, 2001; Cardoso & Goldner, 2007; Lord *et al.*, 2008; Barbosa *et al.*, 2014). Para o desenvolvimento de modelos preditivos é fundamental a identificação dos fatores que contribuem para a ocorrência de um acidente, sobretudo os ligados à via e ao ambiente viário. Assim, os modelos de previsão buscam relacionar os fatores contribuintes de acidentes viários às ocorrências de acidentes, possibilitando uma análise do potencial da acidentalidade em diferentes configurações viárias (Boffo, 2011). Porém, o desenvolvimento de modelos

preditivos não é um trabalho trivial e este tem sido objeto de estudo de pesquisadores da área de transportes em todo o mundo. Há o desafio de produzir métodos viáveis e práticos, que não sejam tão complexos para não limitar a sua aplicação por profissionais na rotina de trabalho das agências de transportes, mas que ainda assim reflitam o desempenho de segurança de uma via de forma satisfatória.

Existe na literatura um grande número de trabalhos sobre a previsão da frequência de acidentes viários, usando diferentes abordagens estatísticas para o desenvolvimento dos modelos preditivos, porém, dado o foco deste trabalho, esses modelos não serão detalhados nesta dissertação. Uma revisão extensa de modelos de previsão de acidentes e das alternativas metodológicas é fornecida nos trabalhos de Lord & Mannering (2010), Savolainen *et al.* (2011) e Cardoso (2006). Dentre os principais modelos estatísticos já utilizados na modelagem de acidentes, os mais adotados pelos pesquisadores são os Modelos de Regressão Linear, através da regressão linear múltipla, e os Modelos Lineares Generalizados, que incluem a regressão de Poisson e a regressão binomial negativa. Do ponto de vista metodológico, diversos pesquisadores mostraram que a regressão linear múltipla não é um método adequado para modelar a relação entre a ocorrência de acidentes e as características geométricas e operacionais no ambiente viário, uma vez que as contagens de acidentes são não-negativas e não normalmente distribuídas (Joshua & Garber, 1990; Miaou & Lum, 1993; Mountain *et al.*, 1996; Abdel-Aty & Radwan, 2000). Dessa forma, a regressão de Poisson e, em caso de excesso de dispersão, a regressão binomial negativa são abordagens mais adequadas para a modelagem da frequência de acidentes (Joshua & Garber, 1990; Miaou & Lum, 1993; Mountain *et al.*, 1996; Vogt & Bared, 1998; Abdel-Aty & Radwan, 2000; Hauer, 2004a; Hauer, 2004b; Oh *et al.*, 2006).

No Brasil, o desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes não está ainda bem instituído. Esta privação pode ser atribuída, em parte, à carência na disponibilidade e qualidade da informação de acidentes viários associada à escassez relativa de processos de calibração e validação de modelos de desempenho de segurança no país (Barbosa *et al.*, 2014). Foram localizados alguns trabalhos recentes de métodos preditivos que buscam representar o potencial de acidentes em vias brasileiras: Cardoso (2006) apresentou modelos de previsão de acidentes de trânsito em vias arteriais urbanas da cidade de Porto Alegre, RS; Barbosa & Costa (2011) desenvolveram modelos para interseções na cidade de Belo Horizonte, MG; Cunto *et al.* (2012) desenvolveram um modelo de previsão de acidentes para

interseções semaforizadas na cidade de Fortaleza, CE; e Claude (2012) apresentou modelos preditivos de acidentes para interseções na cidade de Brasília, DF.

Diante da dificuldade em desenvolver modelos preditivos, é improvável que as agências de transportes sejam capazes de desenvolver seus próprios modelos, específicos para cada configuração viária e para cada local. Em vez disso, é desejável que um modelo desenvolvido em um local possa ser utilizado em uma outra localidade.

2.2. APRESENTAÇÃO DO MANUAL HSM

O Manual de Segurança Viária americano (*Highway Safety Manual*, HSM) surgiu da necessidade de analisar a segurança no ambiente viário de forma mais quantitativa e da demanda de um documento oficial único que sistematizasse os procedimentos de segurança nos Estados Unidos. A primeira edição do Manual foi publicada pela reconhecida instituição americana *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) em 2010.

O objetivo maior do HSM é fornecer conhecimento e ferramentas práticas aos profissionais de transporte para possibilitar uma melhor tomada de decisão no desempenho de segurança, com base em informações quantitativas. As ferramentas metodológicas do Manual são potencialmente aplicáveis nas diversas fases de um empreendimento viário: planejamento, projeto, construção, operação e manutenção.

Para a promoção da segurança viária, o Manual (AASHTO, 2010) enfatiza que não existe uma “segurança absoluta”, uma vez que o risco é inerente às operações viárias devido à variabilidade de comportamentos dos usuários, condições ambientais e outros fatores que não são controláveis integralmente. Dessa forma, os esforços concentram-se na redução do número e da gravidade dos acidentes. Ainda, o Manual se posiciona como um documento auxiliar na busca por segurança no ambiente viário e reforça que, embora os métodos preditivos e quantitativos do manual tenham base científica e sejam estatisticamente válidos, não substituem a importância do julgamento profissional à luz da engenharia. A primeira edição do Manual não aborda questões como a educação do motorista, esforço legal, segurança veicular e procedimentos de socorro à vítimas de acidentes, embora reconheça que estas são considerações importantes no amplo tema da segurança viária.

Dentre a vasta lista de termos e conceitos incluídos no glossário do manual, para o presente trabalho cabe destacar os seguintes (AASHTO, 2010):

- Acidente (o Manual usa como denominação geral o termo “*crash*”) - um conjunto de eventos que não estão sob o controle humano, que resulta em ferimentos ou danos materiais devido à colisão de pelo menos um veículo motorizado e pode envolver colisão com outro veículo motorizado, um ciclista, um pedestre ou um objeto.
- Frequência de acidentes (o Manual usa o termo “*crash frequency*”) - número de acidentes que ocorrem em um determinado local, facilidade ou rede viária em um período de um ano e é medida em número de acidentes por ano.

Na literatura internacional sobre segurança viária o termo “*accident*” tem sido substituído pelo termo “*crash*” de modo a indicar que os acidentes de trânsito não devem ser considerados como eventos que ocorrem de forma inesperada, mas sim que são o resultado de um conjunto de condições adversas que podem ser minimizadas ou, em alguns casos, evitadas. No Brasil o termo “acidente de trânsito” continua sendo empregado, mas com a conotação de “*crash*”.

No modelo preditivo do Manual HSM, os acidentes entre bicicletas e entre bicicletas e pedestres não são considerados na quantificação dos acidentes.

Com relação à aplicação do Manual, o HSM é um documento bastante amplo e integra conceitos e metodologias relacionadas à segurança viária. Em uma base mais teórica, apresenta conceitos básicos da accidentalidade e os principais elementos dos fatores humanos na interação entre o motorista e a via. Em uma abordagem mais prática, apresenta um modelo para a Gestão de Segurança, com etapas bem definidas, buscando monitorar e reduzir a frequência e a gravidade dos acidentes nos elementos viários (trechos viários e intersecções). Este modelo inclui métodos para a identificação de locais com potencial para melhoria (Triagem de rede, do termo em inglês *Network Screening*), o diagnóstico, a seleção de medidas corretivas, a avaliação econômica e técnicas para a priorização de projetos e avaliação de eficácia.

Na sequência, o Manual apresenta uma metodologia para quantificar a segurança a partir de modelos de previsão do número de acidentes em vias. Os modelos de previsão são

importantes ferramentas pró-ativas para estimar a mudança esperada na frequência de acidentes em um segmento viário sob diferentes alternativas de projeto (AASHTO, 2010).

O método preditivo pode ser utilizado em situações independentes, na avaliação da eficácia de contramedidas (tratamentos geométricos e/ou operacionais) em locais de interesse e na avaliação de alternativas de projeto, ou, em um contexto mais amplo, integrando o processo de Gestão da Segurança e atuando nas seguintes atividades:

- Triagem de rede para classificar e identificar quais os locais mais propensos à responder positivamente à medidas corretivas geométricas e/ou operacionais e, logo, presenciar uma diminuição da acidentalidade;
- Avaliação econômica, na comparação do potencial de acidentalidade de diferentes contramedidas, como parte dos custos globais do projeto.

2.3. O MÉTODO DE PREVISÃO DE ACIDENTES DO HSM

O método de previsão do número de acidentes do Manual HSM fornece uma sequência estruturada de etapas para estimar a frequência média de acidentes esperados (por número de ocorrências, nível de gravidade do acidente ou o tipo de acidente) em um local específico. Ele pode ser aplicado em segmentos viários para condições existentes, alternativas de projeto ou novos empreendimentos. É uma ferramenta importante na avaliação de soluções para um local específico, fornecendo dados para comparar a frequência média esperada de acidentes sob diferentes situações (AASHTO, 2010).

Para a aplicação do método preditivo a rodovia sob análise deve ser dividida em elementos viários individuais, que são compostos por interseções e trechos homogêneos, os quais devem ter volume de tráfego e características geométricas e operacionais constantes. O cálculo da frequência esperada de acidentes é feito separadamente para cada trecho homogêneo ou interseção em cada ano e, ao final, a soma dos resultados de todos os elementos individuais representa o número esperado de acidentes para toda a extensão do segmento em análise da rodovia e para o período de tempo considerado.

O tempo de interesse do estudo, em anos, compõe o período no qual as características geométricas e operacionais são inalteradas e os volumes de tráfego são conhecidos ou estimados.

O número de acidentes previsto para um determinado local em um ano específico, N_{previsto} , é estimado com base nas características geométricas e operacionais e no volume de tráfego desse elemento viário. O cálculo do N_{previsto} é composto pelos seguintes parâmetros (AASHTO, 2010):

- Função de Desempenho de Segurança - *Safety Performance Function* (SPF);
- Fatores de Modificação de Acidentes - *Crash Modification Factors* (CMFs);
- Fator de Calibração, C_x .

O número previsto de acidentes é calculado a partir da Equação 3.1 (AASHTO, 2010):

$$N_{\text{previsto}} = N_{\text{spf } x} \times (CMF_{1x} \times CMF_{2x} \times \dots \times CMF_{yx}) \times C_x \quad (3.1)$$

Onde:

N_{previsto} : número previsto de acidentes para um determinado ano e local do tipo x ;

$N_{\text{spf } x}$: número previsto de acidentes para um determinado ano e um local do tipo x sob a condição ‘base’ considerada no desenvolvimento da SPF;

CMF_{yx} : Fator de Modificação de Acidentes. Fator de Modificação da *SPF* para condição y e local do tipo x ;

C_x : Fator de Calibração para ajuste da *SPF* às condições regionais em locais do tipo x .

Para melhorar a confiabilidade estatística da estimativa, no caso de rodovias existentes e sendo conhecido o histórico de acidentes do período de análise, o número de acidentes observados, $N_{\text{observado}}$, pode ser combinado com o N_{previsto} , tendo como resultado o N_{esperado} . O cálculo do N_{esperado} é realizado por meio do método empírico de Bayes (EB).

2.3.1. FUNÇÕES DE DESEMPENHO DE SEGURANÇA

As Funções de Desempenho de Segurança (SPFs, do termo em inglês *Safety Performance Functions*) são modelos de regressão para a previsão do número de acidentes sob condições geométricas e operacionais pré-estabelecidas pelo modelo, as condições ‘base’, resultando no N_{spf} .

O Manual (AASHTO, 2010) apresenta diferentes SPFs, que integram o cálculo do N_{previsto} e são modelos preditivos específicos para cada tipo de elemento viário (tipo de instalação):

- Rodovias rurais de pista simples (*rural two-lane highways*);
- Rodovias rurais de múltiplas faixas (*rural multilane highways*);
- Vias arteriais urbanas e suburbanas (*urban and suburban arterials*).

Neste trabalho, as rodovias de múltiplas faixas são designadas como rodovias de pista dupla, diferenciando por RPD com divisão central ou RPD sem divisão central.

As SPFs constantes no Manual foram desenvolvidas por meio de técnicas estatísticas de regressão múltipla, admitindo que as frequências de acidentes seguem uma distribuição binomial negativa (AASHTO, 2010). Neste modelo de regressão a variável dependente é a frequência de acidentes e as variáveis independentes são o Volume Médio Diário Anual (VMDA) e, no caso de trechos homogêneos, a extensão do elemento viário em análise.

Tendo sido desenvolvido para condições base pré-estabelecidas, o N_{spf} requer alguns ajustes para então refletir as condições específicas de cada elemento individual sob análise. Os ajustes são feitos por meio de Fatores de Modificação de Acidentes e de um Fator de Calibração.

2.3.2. FATORES DE MODIFICAÇÃO DE ACIDENTES

Os Fatores de Modificação de Acidentes (CMFs) representam as características geométricas e operacionais de um segmento, como por exemplo a largura das faixas de rolamento ou a inclinação de taludes laterais. No método preditivo, o SPF é multiplicado por uma série de CMFs para o ajuste da frequência média esperada de acidentes sob as condições específicas presentes em um elemento individual.

O método assume que os CMFs podem ser multiplicados em conjunto para estimar os efeitos combinados dos respectivos parâmetros. Esta abordagem, quando determina a multiplicação dos CMFs, admite que as características individuais consideradas na análise são independentes entre si. O Manual (AASHTO, 2010) explica que, até o momento, existem ainda poucos estudos sobre a independência entre os parâmetros geométricos e operacionais de uma via, mas considera que esta é uma suposição razoável com base no conhecimento atual.

2.3.3. FATOR DE CALIBRAÇÃO

Os níveis de frequência de acidentes podem variar substancialmente de uma região para outra, e isso ocorre por uma variedade de razões, como por exemplo diferenças nas condutas dos usuários, condições ambientais ou até mesmo por diferenças nos procedimentos do sistemas de cadastro de acidentes (AASHTO, 2010).

O Manual indica a realização de uma calibração do modelo, que tem por função incorporar os dados locais para melhorar as estimativas de frequências de acidentes. Dessa forma, o Fator de Calibração C_x é um fator de correção das diferenças entre o local (país, estado ou região) de aplicação do método e o local onde o método foi desenvolvido. Este fator é especialmente importante neste projeto de mestrado, uma vez que o método foi desenvolvido nos Estados Unidos e será aplicado em rodovias brasileiras. O processo de calibração como apresentado no HSM está detalhado na seção 3.3.

2.3.4. MÉTODO EMPÍRICO DE BAYES

O método EB pode ser usado para aprimorar os resultados da frequência média de acidentes estimada por meio da combinação dos resultados do método preditivo e dos números reais de acidentes em um segmento viário. Sabendo que ao longo dos anos há uma variação natural na frequência de acidentes que ocorrem em uma via, com valores flutuando aleatoriamente em torno de um valor médio num determinado período de tempo, o método EB é uma ferramenta importante para compensar o potencial viés da regressão à média, de tal forma que variações naturais na frequência de acidentes não sejam confundidas como consequências de um projeto ou de uma medida corretiva implantada (AASHTO, 2010).

O Manual HSM indica ainda que a aplicação do método EB pode ajudar a compensar o viés causado por diferentes graus de dependência entre os CMFs (AASHTO, 2010).

O procedimento de aplicação do método EB está detalhado na seção 3.2.

2.3.5. CLASSIFICAÇÃO DOS ACIDENTES POR NÍVEL DE SEVERIDADE

O método preditivo inclui procedimentos para relacionar a frequência estimada de acidentes por níveis de gravidade (severidade) do acidente e por tipos de acidente. Na maioria dos casos, esta relação é realizada a partir de distribuições padronizadas pelo Manual. O HSM incentiva os profissionais e as agências que fazem uso do Manual a atualizarem tais distribuições segundo a experiência local e utilizando os métodos estatísticos adequados. Porém, na falta de dados locais, o HSM permite a utilização das distribuições padrão do Manual.

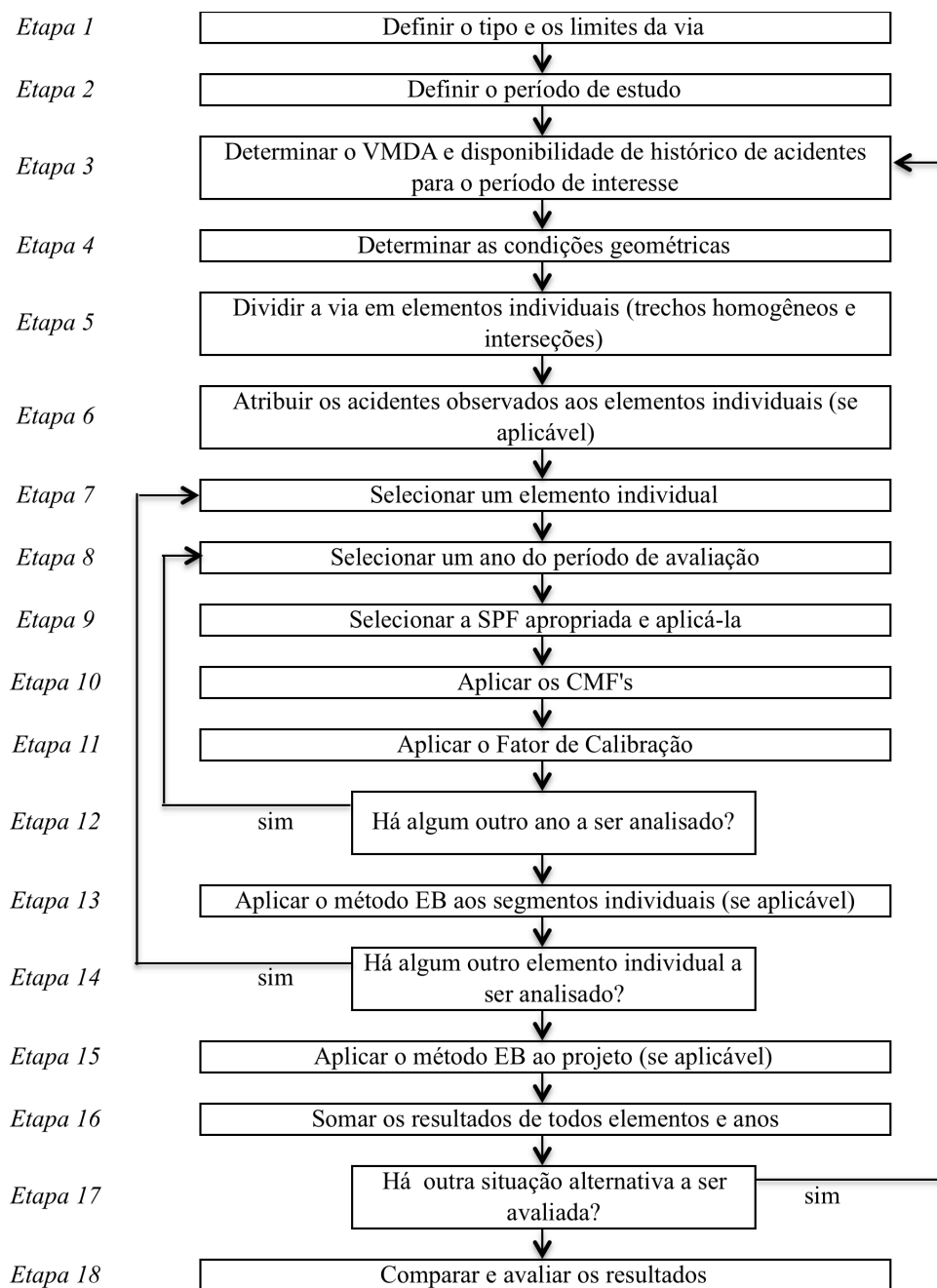
A classificação dos acidentes por nível de severidade segue a escala KABCO, que é uma escala desenvolvida pelo *National Safety Council* nos Estados Unidos para medir a gravidade das lesões observadas para cada pessoa envolvida em um acidente. A escala possui cinco categorias (AASHTO, 2010):

- (K) - Lesão fatal: uma lesão que resulta em morte;
- (A) - Lesão incapacitante: lesão que impede a pessoa de manter atividades cotidianas (como andar ou dirigir), à exceção de um ferimento fatal.
- (B) - Lesão não incapacitante evidente: qualquer lesão, à exceção de um ferimento fatal ou uma lesão incapacitante, que é evidente em observação ainda no local do acidente;
- (C) - Possível lesão: qualquer lesão relatada ou alegada, que não é um ferimento fatal, lesão incapacitante ou lesão não incapacitante evidente, e inclui alegação de ferimentos não evidentes;
- (O) - Nenhuma lesão: apenas danos materiais.

Na classificação de acidentes com a escala KABCO, havendo mais de uma vítima, a ocorrência será identificada pela lesão mais grave relacionada. De forma geral, os acidentes classificados como ‘com vítima’ representam as ocorrências KABC da escala de severidade. E, dessa forma, os acidentes ‘sem vítima’ são os classificados como ‘O’ segundo esta escala.

2.3.6. ETAPAS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO PREDITIVO

O método preditivo do HSM consiste em uma sequência de 18 etapas que sistematizam a aplicação do método, conforme representado na Figura 2.1 (AASHTO, 2010).



Fonte: AASHTO, 2010.

Figura 2.1 - Etapas de aplicação do método de previsão do HSM

Inicialmente, na Etapa 1, a definição dos limites da rodovia vai depender da natureza do estudo, o qual pode ser limitado a apenas um elemento viário específico ou a um grupo de diferentes elementos contíguos.

Na Etapa 2, o período de estudo será determinado pela disponibilidade de dados de volume de tráfego (VMDA) observados ou estimados, dados de acidentes ocorridos e o conhecimento das características geométricas e operacionais dos elementos viários. À depender da finalidade do estudo, o período definido poderá ser passado ou futuro, nesse último caso baseado em um VMDA estimado.

A Etapa 3 requer a determinação do VMDA para o período de interesse. E envolve ainda, para rodovias existentes onde o método EB será aplicado, a determinação dos dados de acidentes para o local e período de estudo. No caso de interseções, deverão ser determinados os diferentes valores de VMDA, para a via principal e as secundárias. Para um período futuro, o VMDA pode ser uma estimativa com base no planejamento do uso do solo e modelos de previsão de volume de tráfego, ou com base no pressuposto de que os volumes de tráfego atuais permanecerão relativamente constantes. Para um período passado, caso não sejam conhecidos os valores do VMDA de todos os anos em estudo, o Manual indica a possibilidade de repetições dos valores conhecidos ou interpolações, a depender dos dados disponíveis.

Em sequência são determinadas as condições geométricas e operacionais dos segmentos viários em estudo (Etapa 4) e, a partir das informações obtidas nas etapas anteriores, na Etapa 5 os segmentos são divididos em elementos viários individuais (trechos homogêneos e interseções).

Nos estudos de rodovias existentes e havendo disponibilidade dos dados do histórico de acidentes para o período, o método Empírico de Bayes (EB) pode ser aplicado, tendo como resultado o $N_{esperado}$. Nesse caso, é desejável a atribuição dos acidentes observados no período à cada elemento individual (Etapa 6). A aplicação do método EB é um refinamento dos resultados fornecidos pelo $N_{previsto}$ e que, na impossibilidade de aplicação deste método, a previsão do número de acidentes será definida pelo $N_{previsto}$.

As Etapas 7 à 14 conduzem o cálculo do $N_{previsto}$ para cada elemento individual e para cada ano do período de interesse. Nesta sequência são identificadas as SPFs adequadas à cada caso

e os fatores correspondentes (CMFs e C_x). Esta sequência também inclui o cálculo do N_{esperado} por elemento individual, a partir do método EB, se for o caso.

A Etapa 15 é aplicada nos casos em que estão disponíveis os históricos de acidentes ocorridos, porém, não podem ser atribuídos com precisão aos elementos individuais separadamente devido aos dados de acidentes estarem incompletos ou pouco precisos. Nesse caso, o método EB é aplicado não em elementos individuais mas no projeto como um todo, no conjunto de elementos.

Finalizando a aplicação do método de previsão de acidentes, na Etapa 16 são somados os resultados de todos os elementos individuais para cada ano, determinando assim o número total previsto (ou esperado) de acidentes para ocorrer ao longo de todos os elementos durante o período do estudo. Para se conhecer a frequência média prevista (ou esperada) de acidentes para a rede em análise, deve-se dividir o resultado anterior pelo número de anos do estudo.

Na Etapa 17 é questionado se existe alguma alternativa a ser analisada para o segmento em estudo, caso em que devem ser repetidas as Etapas de 3 a 16. Alternativas são definidas quando se quer prever o número de acidentes sob diferentes condições, como: opções de intervenção, diferentes cenários de VMDA ou novos empreendimentos.

Por fim, na Etapa 18, é possível avaliar e comparar os resultados obtidos no método de previsão do número de acidentes.

2.3.7. LIMITAÇÕES DO MÉTODO PREDITIVO DO HSM

O método preditivo do HSM é uma ferramenta eficaz para a avaliação quantitativa da segurança no ambiente viário. Porém, o método possui algumas limitações, que podem ser consequência da simplificação do método a fim de alcançar sua aplicabilidade prática ou em função das limitações de conhecimento científico.

O próprio Manual HSM lista as principais limitações do método preditivo, considerando as falhas na generalização da calibração em uma região, a não consideração dos efeitos climáticos diretamente no método e, por fim, a adoção do volume de tráfego pela média diária anual (AASHTO, 2010).

A generalização do Fator de Calibração, o qual é estabelecido para uma jurisdição ou região específica, não considera as diferenças esperadas dentro deste limite geográfico estabelecido. Como por exemplo, diferenças no perfil e nos padrões comportamentais dos motoristas, como distribuição por idade, anos de experiência de condução, uso de cinto de segurança, uso de álcool, e outros fatores comportamentais (AASHTO, 2010).

Com relação ao volume de tráfego, o método de previsão considera um volume médio diário anual, mas não considera os efeitos das variações de volume de tráfego durante um mesmo dia ou período do ano, tampouco compreende a composição do tráfego, como as proporções de caminhões ou motocicletas.

2.4. ESTUDOS RELACIONADOS AO DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PREDITIVO DO HSM PARA TRECHOS RODOVIARIOS DE PISTA DUPLA

O modelo de previsão da frequência de acidentes do HSM para trechos viários em rodovias rurais de pista dupla foi, em grande parte, embasado nos trabalhos de Lord *et al.* (2008), Harkey *et al.* (2008) e Elvik & Vaa (2004). Destes trabalhos foram derivadas as Funções de Desempenho de Segurança (SPFs) assim como os Fatores de Modificação de Acidentes (CMFs).

As SPFs de rodovias de pista dupla do Manual HSM estão documentadas na pesquisa de Lord *et al.* (2008), assim como o CMF em função da largura do acostamento externo em RPD com divisão central. A extensa pesquisa de Lord *et al.* (2008), realizada nos Estados Unidos, foi motivada pela necessidade de se abordar a segurança viária de forma mais quantitativa e pela escassez de estudos do desempenho da segurança especificamente em rodovias de pista dupla. O trabalho apresenta um amplo estudo, em diferentes estados, com o objetivo de desenvolver modelos preditivos de acidentes em trechos e interseções em RPDs. Inicialmente foram consultados os Departamentos de Transportes (DOTs) estaduais nos EUA a fim de investigar se os mesmos faziam uso de modelos estatísticos para prever o desempenho de segurança em RPDs e com o intuito de conhecer as principais variáveis utilizadas em modelos já constituídos. Ainda, buscou-se determinar a disponibilidade de bases de dados das diferentes variáveis, assim como histórico de acidentes e volume de tráfego, nos diferentes estados. Dos departamentos consultados, em apenas dois haviam modelos preditivos já estabelecidos.

Em sequência, foram recolhidos dados em diferentes estados norte-americanos (Califórnia, Minnesota, Texas e Washington), a partir dos quais foram desenvolvidos modelos estatísticos de previsão de acidentes (SPFs) e Fatores de Modificação de Acidentes (CMFs). No desenvolvimento de modelos preditivos, três diferentes classes de modelos foram estimadas: modelos de base (*baseline models*), modelos gerais de volume médio diário de tráfego (*general Average Daily Traffic models*) e modelos com co-variáveis (*models with covariates*).

Dos modelos apresentados no estudo para trechos em RPD, foram incluídos no Manual HSM as Funções de Desempenho de Segurança baseadas em modelos de base. As SPFs foram desenvolvidas a partir de dados históricos de acidentes recolhidos ao longo de vários anos e em locais com características semelhantes e que cobrem uma ampla gama de VMDAs. Os coeficientes dos modelos foram estimados usando métodos de regressão binomial negativa. Para a avaliação do desempenho dos modelos foram exploradas diferentes medidas de qualidade de ajuste.

Em uma outra iniciativa, Harkey *et al.* (2008), em conjunto com os Departamento de Transportes (DOTs) estaduais nos Estados Unidos, definiram uma lista de diferentes CMFs prioritários a serem incluídos naquele estudo. Os CMFs indicados estavam divididos em quatro diferentes grupos: relacionados às interseções, relacionados aos trechos viários, relacionados aos Sistemas Inteligentes de transportes (ITS) e outros. Destes CMFs, alguns já estavam estabelecidos em estudos anteriores.

Os CMFs foram verificados, modificados ou desenvolvidos a partir de quatro tipos básicos de análises: avaliação antes e depois pelo método empírico de Bayes (EB); reanálise dos dados de estudos existentes; discussão de CMFs mais críticos por um grupo de especialistas; e desenvolvimento de CMFs a partir de um estudo transversal.

Conforme detalhado em Harkey *et al.* (2008), a avaliação a partir de um estudo antes e depois, ou seja, que relaciona os índices de segurança anteriores e posteriores à alguma alteração geométrica ou operacional isolada, é o método preferível no desenvolvimento de novos CMFs. Nesse tipo de avaliação, o método EB é aplicado buscando compensar questões como a variação esperada nos índices de acidentes ao longo do tempo (regressão à média) e as mudanças no volume de tráfego. No entanto, para alguns elementos, este tipo de análise não pode ser facilmente realizada. A largura de um canteiro central, por exemplo, que muito

difícilmente sofre alterações em uma rodovia já instalada sem que haja outras mudanças significativas na seção transversal da rodovia. Nesse caso exemplificado, a alternativa mais viável é a aplicação de um estudo transversal que, por meio de modelos de regressão binomial negativa, busca prever a segurança com base em diferentes larguras de canteiro central, volumes de tráfego, entre outros fatores.

Em uma outra abordagem, a discussão de CMFs mais críticas por um grupo de especialistas está relacionada à revisão de CMFs já existentes. Foram realizadas revisões na literatura relacionada que embasaram as decisões consensuais dos profissionais selecionados, assegurando um maior nível de certeza (Harkey *et al.*, 2008).

Para cada CMF desenvolvido ou revisado na pesquisa estão indicados o nível de certeza de previsão relacionado, a metodologia empregada, uma descrição dos locais utilizados no estudo e ainda comentários suplementares, descrevendo os resultados do estudo e a sua aplicabilidade.

Ao todo cinco CMFs do Manual HSM para trechos de RPDs foram embasados no trabalho de Harkey *et al.* (2008), sendo eles: CMF da largura da faixa de rolamento para RPD com e sem divisão central; CMF da largura e tipo de acostamento em RPD sem divisão central; CMF da inclinação do talude lateral em RPD sem divisão central; e CMF da largura do canteiro central.

Especificamente, todos os CMFs de trechos em RPD incorporados no HSM indicam um nível de certeza da previsão classificado como médio/ alto e, com relação ao tipo de análise executada, foram obtidos a partir de análises por grupo de especialistas e, no caso da CMF para largura do canteiro central, foi aplicado um estudo transversal (Harkey *et al.*, 2008).

Por fim, o CMF que representa a presença ou ausência de iluminação em trechos de RPD está documentado na publicação de Elvik & Vaa (2004).

2.5. REVISÃO DE TRANSFERÊNCIAS DE MODELOS PREDITIVOS DO HSM

2.5.1. CALIBRAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DOS MODELOS PREDITIVOS DO HSM

Foram localizadas pesquisas da aplicação dos modelos preditivos do HSM desenvolvidas em diferentes localidades, tanto dentro dos Estados Unidos (Fitzpatrick *et al.*, 2006, no Texas; Sun *et al.*, 2006 e Sun *et al.*, 2011, na Louisiana; e Xie *et al.*, 2011, em Oregon), bem como em outros países, como no Canadá (Persaud, 2002), na Itália (Martinelli *et al.*, 2009), em Portugal (Duarte, 2012), na Nova Zelândia (Koorey, 2010) e no Brasil (Silva, 2011 e Cunto *et al.*, 2015). Os resultados demonstram uma grande variação nos Fatores de Calibração encontrados em cada estudo, inclusive em jurisdições dentro dos Estados Unidos.

Sendo o Manual um instrumento que agrega métodos já existentes para compor o método proposto, há estudos anteriores à sua data de publicação que estão diretamente relacionados à metodologia apresentada no Manual HSM.

Diversos autores, ao aplicar a metodologia de previsão de acidentes do HSM, citaram que a maior limitação para a plena aplicação das SPFs está na dificuldade na obtenção de dados completos e fidedignos dos diferentes elementos viários, em especial os dados de volume de tráfego e históricos de acidentes (Sun *et al.*, 2006; Sun *et al.*, 2011; Duarte, 2012).

Com relação ao procedimento de calibração previsto no HSM, a adoção de um Fator de Calibração único para cada tipo de elemento viário tem sido discutido por diversos autores e, por vezes, criticado. Persaud *et al.* (2002) em uma pesquisa acerca da calibração do método preditivo em interseções urbanas em Toronto, no Canada, concluíram que um único Fator de Calibração tal como é especificado pode ser inadequado, sendo mais adequado uma desagregação por volume de tráfego. Da mesma forma, Sun *et al.* (2006) encontraram diferenças no Fator de Calibração em função do VMDA. Ainda nesta discussão, Chen *et al.* (2012) citam que, a partir do método de calibração que integra o HSM, não pode ser garantido um ajuste satisfatório para todos os intervalos das co-variáveis do modelo.

Sun *et al.* (2006) avaliaram a aplicabilidade do método de previsão do número de acidentes do HSM em rodovias de pista simples no estado da Louisiana, nos Estados Unidos. Os autores

concluíram que o método apresenta uma aplicabilidade satisfatória, com números previstos de acidentes que se aproximam dos números reais (observados) de acidentes nos locais estudados. Resultados mais ajustados foram obtidos com a aplicação do método empírico de Bayes, confirmando a eficácia da utilização do método EB na redução dos efeitos da flutuação aleatória na contagem de acidentes. Em contrapartida, os autores apontaram dificuldades associadas à obtenção de dados, acreditando que este será um desafio real para futuras aplicações do método preditivo do HSM. E ainda, com relação à calibração do modelo, os autores constataram que maiores parâmetros de calibração ocorreram em trechos com menores volumes de tráfego (VMDA inferior a 1.000) e que menores parâmetros de calibração foram relacionados à trechos com um maior VMDA (superior a 10.000).

Em um estudo para calibração do método de previsão do número de acidentes e aplicação do processo de triagem de rede (*Network Screening*), Sun *et al.* (2011) reafirmaram a dificuldade na obtenção dos dados requeridos e indicaram que a aplicação acertada do método preditivo do HSM não é uma tarefa trivial. O trabalho descreve os resultados obtidos na calibração das SPFs do HSM em rodovias de pista dupla no estado da Louisiana, EUA. Os parâmetros médios de calibração obtidos para o período de estudo (5 anos) foram de 0,98 para RPD sem divisão central e 1,25 para os elementos viários com divisão central. Foi constatada uma variação importante dos Fatores de Calibração de um ano para o outro, considerada inesperada pelos autores, dado o grande número de amostras usadas na calibração. Os autores acreditam que esta variação anual pode estar relacionada com a precisão dos dados (número de acidentes observados e volume de tráfego) e ainda sugerem que o modelo do HSM para rodovias rurais de pista dupla com divisão central subestima o número de acidentes previstos. Os autores reforçaram a importância de as agências de transportes terem os modelos de previsão de acidentes devidamente calibrados para as diversas regiões, o que permitirá uma aplicação bem sucedida do método preditivo do HSM.

Duarte (2012) aplicou o método preditivo do HSM em doze interseções urbanas na cidade de Porto, Portugal. Como resultado, o autor verificou um elevado desajuste no valor previsto com relação ao número observado de acidentes. Segundo os dados apresentados, o Fator de Calibração para o conjunto de interseções pesquisadas teve um valor de 7,6, indicando que nas interseções estudadas o número de acidentes observados é 7,6 vezes superior ao número de acidentes calculado pela aplicação direta do método. Este Fator é considerado demasiadamente alto pelo autor do trabalho. A discrepância de resultados pode provir de

fatores relacionados com os dados de volumes de tráfego considerados e devido ao fato de as interseções estudadas terem sido selecionadas devido aos altos índices de sinistralidade, havendo particularidades que as distinguem das demais interseções locais e lhes conferem maior periculosidade (Duarte, 2012). De fato, o Manual recomenda que para um procedimento de calibração do método os elementos viários não devem ser escolhidos devido à uma alta concentração de acidentes, e sim selecionados aleatoriamente. Na aplicação do método empírico de Bayes há uma melhora na fiabilidade estatística dos dados e o $N_{esperado}$ se aproxima do $N_{observado}$. Por fim, o autor destaca a importância da obtenção de dados de volume de tráfego mais confiáveis, visto a importância desta variável no método preditivo.

O HSM fornece recomendações gerais para o tamanho mínimo dos conjuntos de dados de calibração, porém, existem ainda poucas pesquisas que investigam a precisão do Fator de Calibração em função do tamanho da amostra utilizada no procedimento de ajuste (Banihashemi, 2012). Em uma pesquisa realizada em Washington, EUA, Banihashemi (2012) apresentou uma análise de sensibilidade, avaliando a qualidade do Fator de Calibração para diferentes tamanhos de amostra de calibração. A pesquisa foi aplicada em rodovias rurais de pista simples, rodovias rurais de pista dupla e elementos urbanos, em um período de 3 anos (2006 a 2008). Os Fatores de Calibração gerados a partir de todo o conjunto de dados, para cada tipo de elemento viário, foram considerados como os Fatores de Calibração ideais. Em seguida, para cada tipo de elemento viário, os Fatores gerados a partir de diferentes tamanhos de conjuntos de dados (diferentes porcentagens do conjunto de dados completo) são comparados com estes Fatores ideais. Uma análise de sensibilidade foi realizada para avaliar o efeito do tamanho do conjunto de dados sobre a qualidade do Fator de Calibração nos diferentes elementos viários do Estado de Washington.

Como resultado da pesquisa, no caso específico das RPDs com divisão central, Banihashemi (2012) recomenda que, para um melhor desempenho do procedimento de calibração e para garantir que este esteja distanciado do Fator de Calibração ideal em no máximo 10%, a amostra de calibração deve conter ao menos cerca de 60 a 70% de todo o conjunto de dados daquele estado. Este resultado, no estado de Washington, representa uma extensão mínima de 193 a 225 quilômetros e representa elementos que contenham um número mínimo de acidentes entre 380 e 440 por ano, valores estes bastante superiores aos parâmetros mínimos indicados no Manual HSM. Para RPD sem divisão central a amostra foi considerada pequena,

o que impediu o autor de apresentar conclusões sobre o tamanho mínimo da amostra de calibração para este tipo de elemento viário (Banihashemi, 2012).

2.5.2. ESTUDOS DA TRANSFERÊNCIA DE SPFs DO HSM NO BRASIL

Os subitens a seguir apresentam estudos da transferibilidade do modelo HSM para elementos viários brasileiros.

2.5.2.1. INTERSEÇÕES EM VIAS ARTERIAIS URBANAS

Cunto *et al.* (2015) buscaram avaliar a transferibilidade do método preditivo do HSM para o ambiente urbano brasileiro. O estudo foi desenvolvido a partir de dados de 89 interseções semaforizadas e 92 interseções não semaforizadas em vias arteriais urbanas em Fortaleza. Para cada tipo de controle de parada (semaforizadas e não semaforizadas), as interseções foram divididas aleatoriamente em dois grupos, um para o procedimento de calibração e o outro para a validação do método a partir da aplicação do modelo já calibrado. Para interseções semaforizadas foi obtido um Fator de Calibração de 0,98, o que sugere que o número de acidentes observados foi bem similar ao número previsto de acidentes calculado pelo método original do HSM, sem calibração. No caso das interseções não semaforizadas, o Fator de Calibração obtido foi de 2,15, indicando que o número de acidentes observados é maior que o dobro do número de acidentes previstos a partir do método sem calibração. No grupo de validação dos modelos já calibrados os resultados foram satisfatórios, com números previstos de acidentes próximos aos números observados.

O desempenho dos modelos preditivos do HSM calibrados foi avaliado utilizando parâmetros estatísticos de desvio médio absoluto (MAD) e o erro percentual absoluto médio (MAPE), além de técnicas gráficas, como a plotagem CURE e plotagem dos valores de acidentes previstos versus os acidentes observados, para a amostra de calibração e para a amostra de validação (Cunto *et al.*, 2015).

Para cada tipo de controle de parada das interseções o MAD e o MAPE apresentaram valores semelhantes para os resultados de calibração e validação, sugerindo que existe uma estabilidade razoável entre as amostras. Os melhores resultados de medidas de desempenho foram alcançados no grupo das interseções semaforizadas. O pior desempenho do grupo de

interseções não semaforizadas pode ser devido ao fato de que cerca de 10% das interseções não semaforizadas possuíam um VMDA nas vias secundárias superior ao limite indicado no HSM.

Na análise gráfica CURE foram avaliadas a qualidade de ajuste das amostras de calibração e de validação, separadamente. A amostra de calibração apresentou um padrão aceitável para as interseções semaforizadas, porém, esta avaliação não apresentou um ajuste adequado nas amostras de interseções não semaforizadas (calibração e validação) e na amostra de validação de interseções semaforizadas. Para a calibração e validação de dados a partir das interseções não semaforizadas, o modelo geralmente superestimou os resultados para os valores mais baixos de VMDA e subestimou os resultados para os níveis mais elevados de VMDA. Os autores acreditam que, neste caso, a estimativa dos Fatores de Calibração para intervalos específicos de VMDA iria melhorar a força preditiva do modelo do HSM. Os resultados desta análise não são uma indicação definitiva de que a calibração não foi bem sucedida, no entanto, sugerem que outras variáveis e outros modelos podem melhorar as estimativas de acidentes e reforçam a existência de consideráveis diferenças não observadas entre os dados do HSM original e o ambiente de segurança rodoviária na cidade de Fortaleza (Cunto *et al.*, 2015).

Ainda no trabalho de Cunto *et al.* (2015), através de um outro recurso gráfico, foram plotados os acidentes previstos *versus* os acidente observados para as amostras de calibração e validação, para cada tipo de controle de parada. No caso das interseções semaforizadas, em ambas as amostras, a análise gráfica indicou uma tendência de superestimação do modelo em interseções com um baixo número de acidentes observados e uma tendência de subestimação em interseções com mais de 25 acidentes observados no período de estudo (3 anos).

Os autores acreditam que o baixo desempenho relativo entre as amostras de calibração e de validação pode ser explicado, pelo menos parcialmente, pelo pequeno tamanho da amostra (Cunto *et al.*, 2015). Apesar de estar coerente com a proposição do HSM, o qual indica que para o procedimento de calibração a amostra deve ser composta por pelo menos 30 a 50 locais, dado a natureza aleatória dos acidentes, resultados mais confiáveis poderiam ser obtidos a partir de uma maior amostra de calibração.

Por fim, os autores acreditam que estes resultados iniciais sobre a possibilidade de transferência do método de previsão HSM para interseções urbanas no Brasil sugerem que, como uma alternativa para o desenvolvimento de modelos preditivos específicos, o método proposto pelo HSM pode ser aplicado com cautela. Ainda, os resultados do estudo sugerem que a utilização de outras formas funcionais e / ou variáveis para desenvolver um modelo de ajuste de dados pode melhorar o desempenho global do modelo para ambas as interseções, semaforizadas e não semaforizadas, em particular a última (Cunto *et al.*, 2015).

2.5.2.2. RODOVIAS RURAIS DE PISTA SIMPLES

Em uma aplicação do método preditivo do HSM em trechos homogêneos de pista simples no estado de São Paulo, Silva (2011) encontrou um Fator de Calibração de 3,73 para as rodovias analisadas. O estudo incluiu 3 diferentes rodovias e extensão de pouco mais de 80km, divididos em 79 trechos homogêneos. Além do procedimento de calibração, foi ainda aplicado o método EB. A autora destaca que o método sem calibração não reflete a realidade brasileira das rodovias estudadas, uma vez que o histórico de acidentes se mostrou quase 4 vezes superior ao esperado pelo modelo sem a calibração.

Para enriquecer a avaliação do desempenho dos modelos, os 79 trechos homogêneos foram divididos em 20 diferentes categorias. Cada categoria agrupa os trechos homogêneos que apresentam os mesmos CMFs, ou seja, as mesmas características dos diferentes Fatores de Modificação de Acidentes em rodovias de pista simples.

Em uma análise gráfica, foram plotados os números de acidentes nos diferentes métodos para os 79 trechos homogêneos: acidentes observados, acidentes previstos pelo modelo calibrado e acidentes previstos pelo modelo calibrado e refinado pelo método EB. Um segundo gráfico foi apresentado com os números de acidentes nos três diferentes métodos para as 20 categorias (grupos) de trechos homogêneos. Nessa análise gráfica a autora sugere que, com a aplicação do método empírico de Bayes utilizando como referência o modelo calibrado, os resultados obtidos representam bem a realidade.

No estudo, foi avaliada a aderência entre os dados reais e os dados calculados (pelo modelo preditivo calibrado e pelo método EB) utilizando os testes estatísticos Chi-quadrado e Kolmogorov-Smirnov. Para a aplicação dos testes os segmentos homogêneos foram divididos

em nove faixas de acidentes. No teste de Chi-quadrado (χ^2) foram obtidos os valores: χ^2 igual a 8,63 para o método calibrado e χ^2 igual a 11,58 para o método empírico de Bayes. Considerando um nível de significância igual a 0,05, o χ^2 teórico é igual a 14,07. Como os valores de χ^2 obtidos nos dois modelos (método calibrado e método EB) são inferiores ao teórico, com 95% de certeza não se pode rejeitar a hipótese inicial de que as distribuições associadas aos modelos representam a realidade.

No teste de Kolmogorov-Smirnov foram obtidos valores de $D_{\text{máx}}$ igual a 0,076 para o modelo calibrado e $D_{\text{máx}}$ igual a 0,063 para o método EB. Considerando um nível de significância igual a 0,05, o teste resulta em um $D_{\text{máx}}$ teórico igual a 0,15. Sendo os valores de $D_{\text{máx}}$ obtidos inferiores ao teórico, com 95% de certeza não se pode rejeitar a hipótese inicial de que as distribuições associadas aos modelos representam a realidade.

A autora aponta como limitação do HSM o fato do modelo de previsão abordar os efeitos de características geométricas individuais do traçado e do controle de tráfego como independentes entre si e ignorar as potenciais interações. É provável que essas interações existam e, de forma ideal, deveriam ser consideradas pelo modelo de previsão. Entretanto, reconhece que tais interações são difíceis de serem quantificadas. E, por fim, ao citar que o Brasil tem diferenças regionais acentuadas, a autora recomenda o desenvolvimento de estudos específicos para diferentes regiões e estados (Silva, 2011).

3. MÉTODO DE PREVISÃO DE ACIDENTES DO HSM PARA RODOVIAS DE PISTA DUPLA

3.1. MÉTODO PREDITIVO PARA RODOVIAS RURAIS DE PISTA DUPLA

O método preditivo para rodovias rurais de pista dupla que integra o Manual HSM foi documentado por Lord *et al.* (2008). A metodologia inclui rodovias com duas faixas por sentido, com ou sem divisão central, excluindo as vias expressas com controle total de acessos e interseções em níveis diferentes. A distinção entre trechos viários com ou sem divisão central segue os seguintes critérios (AASHTO, 2010):

- Pista dupla sem divisão central (indicadas no Manual como ‘4U’, do termo em inglês *Undivided four-lane roadway segment*, ou ‘ru’, do termo em inglês *Undivided Roadway*): trecho da via que consiste em quatro faixas de rolamento (duas faixas por sentido) e com uma seção transversal contínua, em que as faixas não estão fisicamente separadas por uma distância ou qualquer barreira física; e
- Pista dupla com divisão central (indicadas no Manual como ‘4D’, do termo em inglês *Divided four-lane roadway segment*, ou ‘rd’, do termo em inglês *Divided Roadway*): trecho da via que consiste em quatro faixas de rolamento (duas faixas por sentido) separadas por uma distância livre, um desnível ou uma barreira física e que não sejam classificadas como vias expressas (vias com controle total de acesso).

São consideradas no método preditivo para rodovias de pista dupla três tipos de interseções, definidas da seguinte forma (AASHTO, 2010):

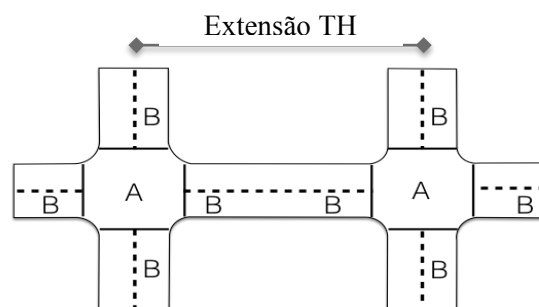
- Interseção de três ramos com controle de parada (3ST, do termo em inglês *3-leg with minor-road stop control*): interseção em pista dupla rural com uma via secundária sinalizada com controle de parada;
- Interseção de quatro ramos com controle de parada (4ST, do termo em inglês *4-leg with minor-road stop control*): interseção em pista dupla rural com duas vias secundárias sinalizadas com controle de parada; e
- Interseção de quatro ramos com sinal semafórico (4SG, do termo em inglês *4-leg signalized*): interseção com duas vias secundárias, que podem ter duas ou quatro faixas. Todas as vias de aproximação são controladas por um sinal semafórico.

Não estão disponíveis no Manual modelos preditivos para trechos com mais de quatro faixas (mais de duas por cada sentido de tráfego) ou para outros tipos de interseções.

3.1.1. DIVISÃO EM ELEMENTOS VIÁRIOS INDIVIDUAIS

Elementos viários individuais são divisões de uma rede viária em trechos homogêneos e interseções. Na divisão dos elementos individuais, cada interseção compõem um segmento individual. Um trecho homogêneo, de forma geral, começa no centro de uma interseção e termina no centro da próxima interseção, ou, no caso de haver mudanças importantes nas características da via, um trecho homogêneo pode ter início ou fim em outros pontos específicos. Quando um trecho homogêneo inicia e/ou termina em uma interseção, o comprimento do TH é medido a partir do centro da interseção, conforme representado na Figura 3.1.

No caso de interseções, o modelo preditivo estima a frequência de acidentes que ocorrem dentro dos limites deste cruzamento (área A da Figura 3.1) e os acidentes relacionados à presença da interseção que ocorram nas imediações da interseção (área B). Para os trechos homogêneos, o modelo estima a frequência de acidentes que ocorreram no elemento viário individual (área B) e que não tenham estejam relacionados diretamente à presença de uma interseção.



Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

Figura 3.1 - Definição de trechos homogêneos e interseções

O processo de segmentação tem por resultado um conjunto de elementos viários contíguos de comprimento variável, sendo que cada um apresenta características homogêneas, tais como volumes de tráfego, características geométricas e recursos de controle de tráfego (AASHTO, 2010).

Os critérios específicos de divisão dos trechos homogêneos são diferentes para cada tipo de elemento viário. No caso de rodovias rurais de pista dupla, o HSM estabelece que um novo trecho começa no centro de uma interseção ou em uma seção onde existe uma mudança em pelo menos uma das seguintes características da via (AASHTO, 2010):

- VMDA;
- Inclinação do talude lateral (*Sideslope*), para segmentos sem divisão central;
- Tipo de acostamento;
- Presença de iluminação;
- Presença de dispositivo automatizado para controle de velocidade;
 - O Manual não esclarece, de forma mais específica, quais os critérios para a divisão de elementos individuais na presença destes dispositivos de controle de velocidade, não sendo apresentados parâmetros como a área de influência destes equipamentos a ser considerada na segmentação.
- Presença de divisão central ou largura da divisão central (canteiro central);
 - O Manual HSM recomenda intervalos de arredondamento para a largura da divisão central na determinação de trechos homogêneos, conforme Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Arredondamento para segmentação de trechos homogêneos referente à largura do canteiro central

Largura do canteiro central - L (m)	Arredondamento (m)
$L < 4,6$	3,0
$4,6 \leq L < 7,6$	6,1
$7,6 \leq L \leq 10,7$	9,2
$10,7 \leq L < 13,7$	12,2
$13,7 \leq L \leq 16,8$	15,3
$16,8 \leq L \leq 19,8$	18,3
$19,8 \leq L \leq 22,9$	21,4
$22,9 \leq L < 25,9$	24,4
$25,9 \leq L < 29,0$	27,5
$L \geq 29,0$	30,5

Nota: No manual HSM as medidas da largura do canteiro central estão em *ft* (pés). Na conversão em metros (m) foi considerado um arredondamento em uma casa decimal.

Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

- Largura do acostamento externo;
 - O Manual HSM recomenda intervalos de arredondamento para a largura do acostamento externo na determinação de trechos homogêneos, conforme Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Arredondamento para segmentação de trechos homogêneos referente à largura do acostamento

Largura do acostamento - L(m)	Arredondamento (m)
$L \leq 0,2$	0,00
$0,2 < L \leq 0,5$	0,35
$0,5 < L \leq 0,8$	0,65
$0,8 < L \leq 1,1$	0,95
$1,1 < L \leq 1,4$	1,25
$1,4 < L \leq 1,7$	1,55
$1,7 < L \leq 2,0$	1,85
$2,0 < L \leq 2,3$	2,15
$L > 2,3$	2,40 ou maior

Nota: No manual HSM as medidas da largura do acostamento estão em *ft* (pés). Na conversão em metros (m) foi considerado um arredondamento em uma casa decimal.
 Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

- Largura da faixa de rolamento.
 - O Manual HSM recomenda intervalos de arredondamento para a largura da faixa de rolamento na determinação de trechos homogêneos, conforme Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Arredondamento para segmentação de trechos homogêneos referente à largura da faixa de rolamento

Largura faixa de rolamento - L(m)	Arredondamento (m)
$L \leq 2,8$	2,74
$2,8 < L \leq 3,0$	2,90
$3,0 < L \leq 3,1$	3,05
$3,1 < L \leq 3,3$	3,20
$3,3 < L \leq 3,4$	3,35
$3,4 < L \leq 3,6$	3,50
$L > 3,6$	3,66

Nota: No manual HSM as medidas da largura da faixa de rolamento estão em *ft* (pés). Na conversão em metros (m) foi considerado um arredondamento em uma casa decimal.
 Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

Não há limitação para a extensão máxima dos trechos homogêneos, o Manual apenas indica que não devem ser divididos trechos com extensão inferior a 0,1 milhas (aproximadamente 160 metros), por indicar que trechos tão pequenos não afetariam os resultados e a fim de minimizar os esforços na aplicação do método.

3.1.2. SPF PARA TRECHOS HOMOGÊNEOS DE RODOVIAS RURAIS DE PISTA DUPLA

A Função de Desempenho de Segurança (SPF) para trechos homogêneos de pista dupla rural é definida pela seguinte Equação 3.2 (AASHTO, 2010, adaptada):

$$N_{spf} = e^{(a+b \times \ln(VMDA) + \ln(\frac{L}{1,6093}))} \quad (3.2)$$

Onde:

N_{spf} : número previsto de acidentes sob a condição ‘base’ no ano em análise;

$VMDA$: volume médio diário anual de tráfego no trecho (número de veículos);

L : extensão do trecho (quilômetros). Adaptação da fórmula original, que prevê a medida de comprimento em milhas; e

a, b : coeficientes de regressão, Tabela 3.4.

Os limites máximos de volume de tráfego para uso da SPF são indicados a seguir (AASHTO, 2010). A aplicação desta SPF para trechos com volumes de tráfego acima destes valores pode não fornecer valores precisos.

- Pista dupla sem divisão central (*Undivided Roadway – ru*): $VMDA \leq 33.200$
- Pista dupla com divisão central (*Divided Roadway – rd*): $VMDA \leq 89.300$

O parâmetro de superdispersão associado ao N_{spf} é calculado em função da extensão do trecho homogêneo, conforme a Equação 3.3 (AASHTO, 2010, adaptada). Quanto mais próximo de zero estiver o parâmetro de superdispersão, maior a confiabilidade estatística do SPF.

$$k = \frac{1}{e^{(c + \ln(\frac{L}{1,6093}))}} \quad (3.3)$$

Onde:

k : parâmetro de superdispersão associado à SPF;

L : extensão do trecho, em quilômetros. Adaptação da fórmula original, que prevê a medida de comprimento em milhas; e

c : coeficiente de regressão para determinar o parâmetro de superdispersão (Tabela 3.4).

Os valores dos coeficientes de regressão a , b e c estão indicados na Tabela 3.4, diferenciados pelo tipo de elemento viário (RPD com ou sem divisão central) e devem ser adotados segundo o nível de severidade dos acidentes que se quer estimar.

Tabela 3.4 - Coeficientes de regressão para equações de trechos homogêneos de pista dupla

	Nível severidade acidente	a	b	c
R {PD sem divisão central (<i>ru</i>)	Acidentes Totais (KABCO)	-9,653	1,176	1,675
	Acidentes com vítima (KABC)	-9,41	1,094	1,796
	Acidentes com vítima (KAB) ^(a)	-8,577	0,938	2,003
RPD com divisão central (<i>rd</i>)	Acidentes Totais (KABCO)	-9,025	1,049	1,549
	Acidentes com vítima (KABC)	-8,837	0,958	1,687
	Acidentes com vítima (KAB) ^(a)	-8,505	0,874	1,740

Nota: O nível de severidade segue a escala KABCO.

^(a) Utilizando a escala KABCO, estes incluem apenas acidentes classificados como KAB, sendo que acidentes com nível de severidade C (possíveis lesões) não estão incluídos.

Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

A Tabela 3.5 apresenta os valores padronizados no Manual das frequências dos tipos de acidentes separados por nível de severidade do acidente. Em um estudo, para a determinação do número de acidentes esperados para cada tipo de acidente, deve-se primeiramente utilizar os coeficientes (a , b e c) adequados ao nível de severidade que se quer considerar e, em seguida, adotar as proporções conhecidas (padronizadas) de tipos de acidente para aquele nível de severidade.

Tabela 3.5 - Distribuição padrão de acidentes por tipo e nível de severidade, para trechos homogêneos rodoviários de pista dupla

	Tipo de Acidente	Total	com vítima	com vítima ^(a)	sem vítima
PD sem divisão central (<i>ru</i>)	Colisão frontal	0,009	0,029	0,043	0,001
	Colisão lateral	0,098	0,048	0,044	0,120
	Colisão traseira	0,246	0,305	0,217	0,220
	Colisão angulada " <i>Angle collision</i> "	0,356	0,352	0,348	0,358
	Acidente único veículo	0,238	0,238	0,304	0,237
	Outros acidentes	0,053	0,028	0,044	0,064
	Somatório (Σ)	1,000	1,000	1,000	1,000
RPD com divisão central (<i>rd</i>)	Colisão frontal	0,006	0,013	0,018	0,002
	Colisão lateral	0,043	0,027	0,022	0,053
	Colisão traseira	0,116	0,163	0,114	0,088
	Colisão angulada " <i>Angle collision</i> "	0,043	0,048	0,045	0,041
	Acidente único veículo	0,768	0,727	0,778	0,792
	Outros acidentes	0,024	0,022	0,023	0,024
	Somatório (Σ)	1,000	1,000	1,000	1,000

^(a) Utilizando a escala KABCO, estes incluem apenas falhas KAB. Acidentes com nível de severidade C (possíveis lesões) não estão incluídos.

Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

Os valores apresentados na Tabela 3.5 representam a realidade do local onde o modelo foi desenvolvido. O Manual estimula a atualização destes valores para a utilização do modelo em outros locais, isso a partir de técnicas estatísticas adequadas e de um horizonte confiável de dados de acidentes locais.

3.1.3. CMFs PARA TRECHOS HOMOGÊNEOS DE RODOVIAS RURAIS DE PISTA DUPLA

As condições ‘base’ da SPF para trechos rodoviários rurais de pista dupla estão representadas na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Condições ‘base’ da SPF para trechos de rodovias rurais de pista dupla

Pista dupla sem divisão central (ru)		Pista dupla com divisão central (rd)	
Largura da faixa de rolamento	3,65m (12 pés)	Largura da faixa de rolamento	3,65m (12 pés)
Largura e tipo de acostamento	1,82m (6 pés) e pavimentado	Largura do acostamento	2,44m (8 pés)
Inclinação do talude lateral	1v:7h ou mais plano	Largura do canteiro central	9,14m (30 pés)
Iluminação	inexistente	Iluminação	inexistente
Dispositivo automatizado de controle de velocidade	inexistente	Dispositivo automatizado de controle de velocidade	inexistente

Em trechos com características que divergem da condição ‘base’, devem ser aplicados ainda os Fatores de Modificação de Acidentes adequados. O Manual indica 5 diferentes CMFs para trechos em rodovias rurais de pista dupla, referentes às características geométricas e operacionais dos trechos sob análise, conforme representado na Tabela 3.7 (AASHTO, 2010). Os CMFs são aplicáveis à SPF do modelo indistintamente para todos os níveis de severidade da Tabela 3.5.

Tabela 3.7 – Fatores de Modificação de Acidentes para trechos em rodovias rurais de pista dupla

Pista dupla sem divisão central (ru)		Pista dupla com divisão central (rd)	
CMF _{1ru}	Largura da faixa de rolamento	CMF _{1rd}	Largura da faixa de rolamento
CMF _{2ru}	Largura e tipo de acostamento	CMF _{2rd}	Largura do acostamento
CMF _{3ru}	Inclinação do talude lateral	CMF _{3rd}	Largura do canteiro central
CMF _{4ru}	Iluminação	CMF _{4rd}	Iluminação
CMF _{5ru}	Dispositivo automatizado de controle de velocidade	CMF _{5rd}	Dispositivo automatizado de controle de velocidade

O primeiro Fator de Modificação de Acidentes de ambas as conformações viárias (CMF_{1ru} e CMF_{1rd}) representa os efeitos da largura da faixa de rolamento na frequência média de acidentes, sendo baseado no trabalho de Harkey *et al.* (2008). Indistintamente, para RPDs com ou sem divisão central, a condição ‘base’ da largura da faixa é de 3,65m (equivalente à 12 pés), com CMF_{1ru} e CMF_{1rd} iguais a 1. Para larguras diferentes o CMF_1 deve ser calculado através da Equação 3.4 (AASHTO, 2010):

$$CMF_1 = (CMF_{RA} - 1,0) \times p_{RA} + 1,0 \quad (3.4)$$

Onde:

CMF_1 : Fator de Modificação de Acidentes para todos tipos de acidentes (CMF_{1ru} e CMF_{1rd});

CMF_{RA} : Fator de Modificação para acidentes relacionados à largura da faixa de rolamento.

Valores na Tabela 3.8; e

P_{RA} : proporção do total de acidentes relacionados à largura da faixa.

O fator CMF_{RA} é determinado a partir da Tabela 3.8 com base na largura da faixa de rolamento e no volume de tráfego aplicável. Para valores intermediários de largura de faixa, não constantes na Tabela 3.8, o CMF_{RA} pode ser obtido por interpolação, uma vez que existe uma transição linear entre os efeitos do VMDA.

Tabela 3.8 - Valores do CMF_{RA} para tipos de acidentes relacionados à largura da faixa de rolamento em rodovias rurais de pista dupla

	Largura da faixa de rolamento (m)	VMDA (veículos por dia)		
		<400	400 a 2000	>2000
RPD sem divisão central (ru)	2,74 ou inferior	1,04	$1,04 + 2,13 \times 10^{-4} (\text{VMDA} - 400)$	1,38
	3,05	1,02	$1,02 + 1,31 \times 10^{-4} (\text{VMDA} - 400)$	1,23
	3,35	1,01	$1,01 + 1,88 \times 10^{-4} (\text{VMDA} - 400)$	1,04
	3,65 ou superior	1,00	1,00	1,00
RPD com divisão central (rd)	2,74 ou inferior	1,03	$1,03 + 1,38 \times 10^{-4} (\text{VMDA} - 400)$	1,25
	3,05	1,01	$1,01 + 8,75 \times 10^{-5} (\text{VMDA} - 400)$	1,15
	3,35	1,01	$1,01 + 1,25 \times 10^{-5} (\text{VMDA} - 400)$	1,03
	3,65 ou superior	1,00	1,00	1,00

Nota: No manual HSM as medidas da largura da faixa de rolamento estão em ft (pés). Na conversão em metros (m) foi considerado um arredondamento em duas casas decimais.

Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

O P_{RA} representa a proporção do total de acidentes relacionados diretamente à largura de faixa, e tem um valor padrão de 0,27 para pista dupla sem divisão central e 0,50 para pista dupla com divisão central (AASHTO, 2010). Esses valores padronizados podem ser atualizados com base em dados locais.

Os Fatores de Modificação de Acidente em função das características dos acostamentos, CMF_2 , são distintos para as duas conformações viárias de pista dupla (ru e rd).

O CMF_{2ru} é um fator de modificação em função da largura e do tipo do acostamento em RPD sem divisão central, baseado no trabalho de Harkey *et al.* (2008). O fator é calculado por meio da Equação 3.5 (AASHTO, 2010):

$$CMF_{2ru} = (CMF_{WRA} \times CMF_{TRA} - 1,0) \times p_{RA} + 1,0 \quad (3.5)$$

Onde:

CMF_{2ru} : Fator de Modificação do acostamento para todos tipos de acidentes;

CMF_{WRA} : Fator de Modificação para acidentes relacionados à largura do acostamento. Valores na Tabela 3.9;

CMF_{TRA} : Fator de Modificação para acidentes relacionados ao tipo de revestimento do pavimento. Valores na Tabela 3.10; e

P_{RA} : proporção do total de acidentes relacionados (padrão é 0,27).

O CMF_{WRA} está determinado na Tabela 3.9 com base na largura do acostamento e no volume de tráfego local.

Tabela 3.9 - CMF para tipos de acidentes associados à largura do acostamento (CMF_{WRA})

Largura acostamento (m)	VMDA (veículos por dia)		
	<400	400 a 2000	>2000
0,00	1,10	$1,10 + 2,5 \times 10^{-4} (VMDA - 400)$	1,50
0,61	1,07	$1,07 + 1,43 \times 10^{-4} (VMDA - 400)$	1,30
1,22	1,02	$1,02 + 8,125 \times 10^{-4} (VMDA - 400)$	1,15
1,83	1,00	1,00	1,00
2,44 ou superior	0,98	$0,98 - 6,875 \times 10^{-4} (VMDA - 400)$	0,87

Nota: No manual HSM as medidas da largura do acostamento estão em *ft* (pés). Na conversão em metros (m) foi considerado um arredondamento em duas casas decimais.

Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

O P_{RA} representa a proporção do total de acidentes relacionados diretamente aos parâmetros do acostamento e, tendo os mesmos princípios do parâmetro relacionado à largura da faixa de rolamento, tem um valor padrão de 0,27.

O CMF_{TRA} tem seus valores indicados na Tabela 3.10, em função da largura e tipo de revestimento do acostamento.

Tabela 3.10 - CMF para tipos de acidentes associados à largura e tipo de revestimento do acostamento (CMF_{TRA})

Tipo revestimento do acostamento	Largura do acostamento (m)						
	0,00	0,30	0,61	0,91	1,22	1,83	2,44
Pavimentado	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Cascalho	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02
Composto*	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,06
Grama	1,00	1,01	1,03	1,04	1,05	1,08	1,11

* Composto por 50% de pavimento e 50% de grama

Nota: No manual HSM as medidas da largura do acostamento estão em *ft* (pés). Na conversão em metros (m) foi considerado um arredondamento em duas casas decimais.

Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

Em rodovias de pista dupla com divisão central o CMF_{2rd} é um Fator de Modificação em função apenas da largura do acostamento externo pavimentado, desenvolvido por Lord *et al.* (2008). Seus valores estão indicados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 - CMF para diferentes larguras do acostamento externo, em metros, em rodovias de pista dupla com divisão central (CMF_{2rd})

Largura acostamento externo (m)	0	0,61	1,22	1,83	2,44 ou mais
CMF_{2rd}	1,18	1,13	1,09	1,04	1,00

Nota 1: Esta CMF é aplicável somente à acostamentos pavimentados.

Nota 2: No manual HSM as medidas da largura do acostamento externo estão em *ft* (pés). Na conversão em metros (m) foi considerado um arredondamento em duas casas decimais.

Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

Independente da conformação viária (*ru* ou *rd*), havendo diferentes larguras e/ou revestimento para os acostamentos nas duas direções de tráfego, em uma mesma seção, o CMF_2 é determinado separadamente para cada sentido da via e é calculada então a média.

Para rodovias de pista dupla com divisão central não são conhecidos os efeitos na frequência de acidentes da existência de acostamentos externos não pavimentados ou da existência de acostamentos internos. Dessa forma, não há CMFs disponíveis para esses casos. A não consideração de acostamentos internos em RPDs com duas faixas por sentido está compatível com a normatização brasileira, que somente prevê a implantação de acostamentos internos para RPDs com três ou mais faixas por sentido, sendo que em RPDs com duas faixas por sentido considera apenas a inclusão de uma faixa de segurança interna de largura reduzida (de 0,5 a 1,20m, a depender da categoria do relevo da rodovia) (DNER, 1999).

O terceiro Fator de Modificação de Acidentes é diferente para cada conformação viária. Para RPD sem divisão central o CMF_{3ru} está relacionado ao talude lateral e para RPD com divisão central o CMF_{3rd} está relacionado ao canteiro central.

O CMF_{3ru} é um Fator de Modificação desenvolvido por Harkey *et al.* (2008), em função da inclinação do talude lateral e tem seus valores indicados na Tabela 3.12.

Tabela 3.12 – CMF para a inclinação do talude lateral (CMF_{3ru})

Inclinação talude lateral	1:2 ou mais íngreme	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7 ou mais suave
CMF_{3ru}	1,18	1,15	1,12	1,09	1,05	1,00

Fonte: AASHTO, 2010.

O CMF_{3rd} é um Fator de Modificação em função da largura do canteiro central e tem seus valores indicados na Tabela 3.13. Estes parâmetros também estão baseados no trabalho de Harkey *et al.* (2008)

Tabela 3.13 – CMF para a largura do canteiro central, em metros, em rodovias de pista dupla com divisão central (CMF_{3rd})

Canteiro central (m)	3,05	6,10	9,14	12,19	15,24	18,29	21,34	24,38	27,43	30,48
CMF	1,04	1,02	1,00	0,99	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94

Nota 1: Estes valores de CMF são aplicáveis à trechos sem dispositivo de separação física (barreiras).

Nota 2: No manual HSM as medidas da largura do canteiro central estão em *ft* (pés). Na conversão em metros foi considerado um arredondamento em duas casas decimais.

Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

No caso da divisão entre as faixas ser imposta por um dispositivo físico separador (barreira), deverá ser adotado um valor de CMF_{3rd} igual a 1.

O CMF_4 é um Fator de Modificação que considera se no trecho homogêneo em estudo há a presença de iluminação e está baseado no trabalho de Elvik e Vaa (2004), sendo o mesmo para as duas configurações viárias (ru e rd). A condição ‘base’ do modelo é a ausência de iluminação, com CMF_{4ru} e CMF_{4rd} iguais a 1. Para locais contemplados com iluminação, o CMF_4 é calculado a partir da Equação 3.6 (AASHTO, 2010):

$$CMF_4 = 1 - [(1 - 0,72 \times p_{inr} - 0,83 \times p_{pnr}) \times p_{nr}] \quad (3.6)$$

Onde:

CMF_4 : Fator de Modificação do efeito da iluminação para todos tipos de acidentes (CMF_{4ru} e CMF_{4rd});

p_{inr} : proporção do total de acidentes noturnos para os trechos sem iluminação e que envolvem lesão, fatal ou não (com vítima);

p_{pnr} : proporção do total de acidentes noturnos para os trechos sem iluminação e que envolvam apenas danos materiais (sem vítimas); e

p_{nr} : proporção de acidentes totais que ocorrem durante a noite para os trechos sem iluminação.

A Tabela 3.14 apresenta os valores padronizados pelo HSM para as proporções de acidentes no período noturno, diferenciados para cada conformação viária. O Manual incentiva os usuários a atualizarem estas estimativas com valores locais.

Tabela 3.14 – Proporção de acidentes noturnos para trechos sem iluminação

Tipo de rodovia	Proporção severidade dos acidentes noturnos		Proporção de acidentes que ocorrem à noite
	com vítima, p_{inr}	sem vítima, p_{pnr}	p_{nr}
RPD sem divisão central (<i>ru</i>)	0,361	0,639	0,255
RPD com divisão central (<i>rd</i>)	0,323	0,677	0,426

Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

Por fim, o CMF_{5ru} e o CMF_{5rd} estão relacionados à presença de dispositivos automatizados de controle de velocidade. Tais dispositivos fazem uso de vídeos ou identificação fotográfica em conjunto com radares ou lasers para detectar excessos de velocidade dos motoristas que trafegam nas vias. A condição ‘base’ deste modelo é a ausência destes dispositivos, com CMF_{5ru} e o CMF_{5rd} iguais a 1 para esta situação. Com a suposição de que a presença destes dispositivos automatizados não interfere na ocorrência de acidentes onde há apenas danos materiais, sem envolver vítimas, o Manual indica um CMF_{5ru} e CMF_{5rd} de 0,95 para locais com a presença destes dispositivos de controle da velocidade, com base na proporção de acidentes que envolvem algum tipo de lesão (com vítima).

3.1.4. INTERSEÇÕES EM RODOVIAS RURAIS DE PISTA DUPLA

Para rodovias rurais de pista dupla, com duas faixas por sentido, foram desenvolvidas SPFs para três tipos diferentes de interseções (AASHTO, 2010):

- Interseção de 3 ramos com sinalização de parada na via secundária (3ST);
- Interseção de 4 ramos com sinalização de parada nas vias secundárias (4ST); e
- Interseção de 4 ramos com sinal semafórico (4SG).

Na Função de Desempenho de Segurança (SPF) as variáveis independentes são apenas os volumes de tráfego (VMDA) da via principal e da via secundária.

O Manual apresenta quatro Fatores de Modificação de Acidentes para as interseções, sendo eles (AASHTO, 2010):

- CMF_{1i} - ângulo de inclinação da via secundária;
- CMF_{2i} - presença de faixas de giro à esquerda na via principal;
- CMF_{3i} - presença de faixas de giro à direita na via principal; e
- CMF_{4i} - iluminação.

Um detalhamento completo do método para interseções não faz parte do escopo deste trabalho, uma vez que serão contemplados nesta pesquisa somente os trechos homogêneos, por isso não serão aqui apresentados a SPF e os CMFs para as interseções em rodovias rurais de pista dupla.

3.2. MÉTODO EMPÍRICO DE BAYES

A aplicação do método Empírico de Bayes tem por resultado o número esperado de acidentes em um local em um período passado, a partir da combinação dos dados de acidentes previstos e os observados. O método pode ser aplicado à cada elemento individual ou à um conjunto de elementos individuais. O Manual recomenda que, para a aplicação do método EB, esteja disponível o histórico de acidentes de um período mínimo de dois anos e que no período de análise tenham sido mantidas as características geométricas e operacionais da via.

A partir da aplicação do método EB em vias existentes, o resultado pode ser utilizado também em projeções futuras para estes mesmos locais. Para a aplicabilidade do método EB em um elemento viário em um período futuro é necessário que algumas condições da via sejam mantidas nesta projeção temporal, caso contrário, corre-se o risco de os acidentes observados anteriormente não representarem de forma adequada o projeto futuro. Dessa forma, em

projeções futuras, a natureza da análise deve se adequar a uma das seguintes condições (AASHTO, 2010):

- Elementos viários em que as características geométricas e operacionais serão mantidas. São esperadas apenas alterações no VMDA;
- Projetos onde há uma pequena alteração na seção transversal da via, como um alargamento do acostamento por exemplo, mas o número de faixas de rodagem não é alterado;
- Projetos que incluem apenas pequenas alterações pontuais no alinhamento, mas que a maior parte do alinhamento permaneça inalterado;
- Projetos para inclusão de faixa adicional de ultrapassagem ou uma seção de quatro faixas com extensão limitada em uma rodovia rural de pista simples;
- Qualquer combinação das melhorias acima.

O método Empírico de Bayes tem grande aceitação entre os pesquisadores, sendo utilizada nas avaliações de segurança há mais de três décadas (Persaud e Lyon, 2007). O Manual (AASHTO, 2010) é objetivo ao citar que o método EB é o mais adequado para o contexto do HSM para compensar os efeitos da regressão à média na contagem de acidentes. Na apresentação do método EB o Manual indica alguns trabalhos que contribuem diretamente com este conteúdo, sendo as publicações de Hauer (1997) e Hauer *et al.* (2002), os quais detalham o procedimento do método EB, e os trabalhos de Harwood *et al.* (2002), Lord e Persaud (2000) e Persaud *et al.* (2001), os quais constituem estudos de avaliação da eficácia de contramedidas, a partir da aplicação do método EB, em diferentes configurações viárias.

A seguir são apresentadas as metodologias de aplicação do método EB por elemento individual e no projeto como um todo (análise conjunta dos elementos viários), e são apresentadas as aplicações do método EB em projeções futuras.

3.2.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO EB POR ELEMENTO INDIVIDUAL

Na aplicação do método EB por elemento individual é necessária a atribuição dos acidentes observados à cada elemento. Este procedimento, na presença de interseções, demanda cuidados adicionais na diferenciação dos acidentes. Os acidentes são atribuídos à uma interseção se tiverem ocorrido nos limites deste cruzamento (área A da Figura 3.1),

representada na seção 3.1.1) ou nos trechos adjacentes (área B), isso se a ocorrência for motivada pela existência da interseção. Dessa forma, os modelos preditivos para uma interseção estimam a frequência de acidentes que ocorrem devido à presença do cruzamento. Os modelos de previsão para os trechos homogêneos estimam a frequência de acidentes que ocorrem no elemento viário individual (área B) e que não estão relacionados à interseção.

Na diferenciação dos acidentes que ocorreram próximos à interseções, informações como o tipo de acidente, o número de veículos envolvidos, as circunstâncias que contribuíram para a ocorrência, a condição meteorológica, as condições do pavimento, um mau funcionamento do controle de tráfego e a sequência de eventos podem fornecer dados úteis para esta determinação. Ocorre que, a depender da qualidade e quantidade de informações disponíveis, pode não ser possível a atribuição dos acidentes aos elementos individuais separadamente. Nesse caso, a aplicação do método EB ficará restrita à análise dos elementos individuais conjuntamente, no projeto como um todo.

A aplicação do método EB tem por resultado o número esperado de acidentes, $N_{esperado}$. No cálculo é utilizado o parâmetro de superdispersão (k), relacionado à cada equação de regressão das diferentes SPFs. Quanto menor for o valor do parâmetro k , maior a confiabilidade dos resultados do método.

O método EB é aplicado à cada trecho homogêneo ou interseção, a partir das seguintes Equações 3.7 e 3.8 (AASHTO, 2010).

$$N_{esperado} = w \times N_{prev} + (1 - w) \times N_{observado} \quad (3.7)$$

$$w = \frac{1}{1 + k \times N_{prev}} \quad (3.8)$$

Onde:

$N_{esperado}$: número de acidentes esperados para o período de análise;

N_{prev} : número de acidentes previstos para o período de análise (método preditivo);

$N_{observado}$: número de acidentes observados no período de análise;

w : fator de ponderação referente à SPF; e

k : parâmetro de superdispersão associado à SPF (Equação 3.3 e Tabela 3.4).

3.2.2. APLICAÇÃO DO MÉTODO EB AO CONJUNTO DE ELEMENTOS

Na impossibilidade de atribuição dos acidentes observados à cada elemento viário individual sob análise, isso por falta de dados completos do histórico de acidentes, o método EB pode ser aplicado no projeto como um todo, agrupando todos os elementos individuais. Esta situação envolve um procedimento mais complexo na aplicação no método EB, e apresenta algumas particularidades (AASHTO, 2010):

- O parâmetro de superdispersão (k) não está definido de forma única, isso porque diferentes modelos preditivos, com diferentes parâmetros k , estarão combinados.
- Não pode ser assumido, como é normalmente feito, que as frequências médias de acidentes esperados para diferentes elementos viários serão estatisticamente correlacionadas. Em vez disso, a estimativa da frequência de acidentes deve ser calculada com base no pressuposto de que os diversos trechos homogêneos e interseções são estatisticamente independente ($r = 0$) e na hipótese alternativa de que eles são perfeitamente correlacionados ($r = 1$). A frequência de acidente médio esperado é então estimado como a média das estimativas para $r = 0$ e $r = 1$.

O cálculo do N_{esperado} é realizado a partir de uma sequência de equações, as quais estão representadas no manual HSM. Nesta dissertação o método EB será aplicado por elemento individual e, dessa forma, a apresentação da sequência de equações de aplicação do método EB ao conjunto de elementos não faz parte do escopo deste estudo.

3.2.3. APLICAÇÕES DO MÉTODO EB EM PROJEÇÕES FUTURAS

A partir do número esperado de acidentes obtido para um período passado é possível obter uma estimativa mais fiável do número de acidentes esperado, em um mesmo elemento viário ou um conjunto de elementos, para um período futuro. As projeções futuras, resultantes da aplicação do método EB em conjunto com os modelos preditivos, são aplicadas em processos de triagem de rede (*Network Screening*), na avaliação da eficácia de contramedidas e na tomada de decisão de alternativas de projeto (AASHTO, 2010).

Tendo por referência um mesmo conjunto de elementos viários, o número esperado de acidentes para um período futuro é obtido a partir da aplicação de alguns fatores ao número esperado de acidentes de um período passado, sendo que este último valor é resultado da

aplicação do método EB. Estes fatores indicados buscam atualizar a estimativa sob as condições da projeção futura, ou seja, integram os diferentes parâmetros de cada período, passado e futuro, considerando:

- Diferenças na duração do intervalo de tempo dos períodos passado ('antes') e futuro ('depois');
- Diferenças nos dados de volume de tráfego, considerando o VMDA do período passado e o VMDA estimado para o período futuro; e
- Alterações realizadas nos elementos viários analisados, contemplando mudanças nas características geométricas ou de controle de tráfego, que afetam os valores dos CMFs para os elementos viários sob análise nos dois períodos.

A frequência média esperada de acidentes para um elemento viário em um período futuro é obtida a partir da Equação 3.9 (AASHTO, 2010):

$$N_f = N_p \left(\frac{N_{bf}}{N_{bp}} \right) \left(\frac{CMF_{1f}}{CMF_{1p}} \right) \left(\frac{CMF_{2f}}{CMF_{2p}} \right) \dots \left(\frac{CMF_{nf}}{CMF_{np}} \right) \quad (3.9)$$

Onde:

N_f : Número esperado de acidentes durante o período futuro, em um elemento viário específico ou em um conjunto de elementos (o período 'depois');

N_p : Número esperado de acidentes para o período de tempo passado, para o qual os dados do histórico de acidentes observados estavam disponíveis (o período 'antes');

N_{bf} : resultado da aplicação da SPF usando os dados do período futuro, a partir de dados de volume de tráfego futuro (VMDA estimado);

N_{bp} : resultado da aplicação da SPF usando os dados do período passado;

CMF_{nf} : valor do enésimo CMF para as condições geométricas planejadas para o período futuro (projeto proposto); e

CMF_{np} : valor do enésimo CMF para as condições geométricas do período passado (concepção existente).

Na aplicação da Equação 3.9, os valores de N_{bp} , N_{bf} , CMF_{np} , e CMF_{nf} devem considerar os VMDAs médios durante todos os respectivos períodos, passado ('antes') e futuro ('depois').

3.3. MÉTODO DE CALIBRAÇÃO

O método de calibração é um procedimento para ajuste dos modelos preditivos do Manual às condições locais onde se deseja aplicar o método de previsão de acidentes (transferência do modelo), e deve ser realizado separadamente para cada tipo de elemento viário. O Fator de Calibração C_x , segundo o Manual, pode representar um estado ou até mesmo uma região geográfica específica dentro de um estado, a depender do horizonte de estudo e das características locais (AASHTO, 2010).

O método de calibração segue uma sequência de 5 etapas, conforme listado a seguir (AASHTO, 2010):

- Etapa 1 – Identificação do tipo de elemento viário onde se quer calibrar o modelo;
- Etapa 2 – Seleção dos elementos viários para a calibração do método preditivo;
 - Para a caracterização de uma região e, para cada tipo de elemento viário (tipo de instalação), o número desejável mínimo de elementos individuais para um conjunto de dados de calibração é de 30 a 50, os quais, em conjunto, devem representar um total de pelo menos 100 acidentes por ano. Os locais devem ser escolhidos de forma aleatória e nunca em função de índices de acidentalidade.
- Etapa 3 – Obtenção dos dados necessários (características geométricas e operacionais) para a aplicação do método preditivo e dos dados do histórico de acidentes do local para o período de interesse;
 - Sabendo que é esperada uma variação ao longo do tempo na frequência média de acidentes em um local, não são recomendados períodos de calibração superiores à três anos.
- Etapa 4 – Aplicação do método preditivo, conforme etapas apresentadas na seção 2.3.6 (exceto etapas 13 e 15 referentes ao método EB), obtendo a frequência esperada de acidentes para o local em estudo no período determinado. Para isso, inicialmente, assumir que o C_x é igual a 1. Na calibração não pode ter sido aplicado anteriormente o método EB; e
- Etapa 5 – Cálculo do Fator de Calibração para a região delimitada.
 - O Fator de Calibração é calculado a partir da razão entre a frequência total de acidentes observados e a frequência total de acidentes esperados (método

preditivo) em um mesmo grupo de elementos individuais e durante o mesmo período de tempo, conforme a seguinte Equação 3.10.

$$C_x = \frac{\Sigma_{\text{elementos}} \text{Acidentes observados}}{\Sigma_{\text{elementos}} \text{Acidentes previstos}} \quad (3.10)$$

Onde:

C_x : Fator de Calibração para um tipo específico de elemento viário x (trecho homogêneo ou interseção);

Acidentes observados: histórico de acidentes no período de interesse, em unidades, incluindo todos os acidentes, independente do tipo ou nível de severidade;

Acidentes previstos: referente ao N_{previsto} no período de interesse, calculado através do método preditivo.

Complementando a Etapa 3 do método de calibração, na obtenção dos dados necessários para a aplicação do método, o Manual lista as características geométricas e operacionais que integram o método preditivo de rodovias rurais de pista dupla e as classifica como sendo ‘necessária’ ou ‘desejável’ em um procedimento de calibração de trechos rodoviários (Tabela 3.15). Em algumas situações, quando os dados desejáveis de alguma característica da via não estão disponíveis, o Manual permite a adoção de uma ‘suposição padrão’.

Tabela 3.15 – Características necessárias para calibração do modelo de previsão de acidentes para rodovias rurais de pista dupla

Características da rodovia	Necessidade dos dados		Suposição padrão
	Necessário	Desejável	
Extensão do trecho	x		Dado necessário
Volume de tráfego (VMDA)	x		Dado necessário
Largura da faixa de rolamento	x		Dado necessário
Largura do acostamento	x		Dado necessário
Presença de iluminação	x		Sem iluminação
Presença de dispositivos automatizados de controle de velocidade		x	Padrão local
Inclinação do talude lateral (apenas para rodovias sem divisão central)	x		Dado necessário
Largura do canteiro central (penas para rodovias com divisão central)	x		Dado necessário

Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010.

3.4. MEDIDAS DE QUALIDADE DE AJUSTE DOS MODELOS CALIBRADOS

Na transferência de um modelo preditivo, em uma abordagem mais completa é importante o estabelecimento de medidas de desempenho que busquem avaliar o ajuste dos modelos calibrados aos dados locais. E ainda, considerando que publicações recentes demonstram que o Fator de Calibração varia consideravelmente quando aplicado tanto dentro como fora dos Estados Unidos (Sacchi *et al.*, 2012), uma avaliação do ajuste dos modelos calibrados é essencial para a avaliação da transferência de SPFs do Manual em diferentes locais e para os diversos tipos de elementos viários.

Diversos autores buscaram avaliar o desempenho da transferência dos modelos preditivos do HSM em diferentes localidades a partir da aplicação de uma série de medidas de qualidade de ajuste, conforme apresentado na Tabela 3.16.

Tabela 3.16 – Medidas de qualidade de ajuste empregadas em trabalhos relacionados à transferência das SPFs do HSM

Publicações	Medidas de qualidade de ajuste				
	CURE	MAD	MAPE	R^2_{Efron}	Outros
Persaud <i>et al.</i> , 2011	x	x			Parâmetro de superdispersão recalibrado
Cafiso <i>et al.</i> , 2012					Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE)
Sacchi <i>et al.</i> , 2012	x	x			Parâmetro de superdispersão recalibrado
D’Agostino, 2014	x			x	
Cunto <i>et al.</i> , 2015	x	x	x		Pearson χ e Z-score

As abreviações na Tabela 3.16 são referentes aos termos:

- CURE (*Cumulative Residuals*) - Gráfico de Resíduos Acumulados. Utilizado para examinar se a forma funcional de um modelo se ajusta satisfatoriamente ao longo de toda a gama dos dados utilizados.;
- MAD (*Mean absolute deviance*) - Desvio Médio Absoluto;
- MAPE (*Mean absolute percentage error*) - Erro Percentual Absoluto Médio; e
- R^2_{Efron} – Pseudo- R^2 proposto por Efron (Hardin e Hilbe, 2007).

Para fins desta pesquisa, e com o intuito de avaliar de que forma os modelos calibrados se ajustam aos dados locais estudados, foram selecionadas três medidas de qualidade de ajuste, convencionais em estudos de modelagem de acidentes: o R^2_{Efron} , o Desvio médio absoluto (MAD) e o Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE).

O pseudo- R^2 proposto por Efron (Hardin e Hilbe, 2007), calculado a partir da Equação 3.11, foi utilizado por D'Agostino (2014) e fornece uma medida da qualidade de ajuste do modelo de previsão. Na interpretação do resultado do R^2_{Efron} , valores mais próximos de um indicam um melhor ajuste do modelo.

$$R^2_{Efron} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (N_{obs_i} - N_{prev_i})^2}{\sum_{i=1}^n (N_{obs_i} - \bar{N}_{obs})^2} \quad (3.11)$$

Onde:

N_{obs_i} : Número total de acidentes ocorridos em cada elemento individual (i) em análise e no período de interesse;

N_{prev_i} : número previsto de acidentes em cada elemento individual (i) em análise e no período de interesse;

\bar{N}_{obs} : Média dos acidentes ocorridos em todos os elementos individuais em análise e no período de interesse;

n: número total de elementos individuais na amostra de dados.

O Desvio Médio Absoluto (MAD) proporciona uma medida do desvio médio do modelo. Um valor próximo de 0 indica um bom ajuste do modelo. Ele é calculado usando a Equação 3.12 (adaptada de Lord *et al.*, 2008):

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |N_{obs_i} - N_{prev_i}|}{n} \quad (3.12)$$

Onde:

N_{obs_i} : Número total de acidentes ocorridos em cada elemento individual (i) em análise e no período de interesse;

N_{prev_i} : número previsto de acidentes em cada elemento individual (i) em análise e no período de interesse;

n: número total de elementos individuais na amostra de dados.

O Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE) calcula a média de todos os erros absolutos percentuais e é calculado a partir da Equação 3.13.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{N_{obs_i} - N_{prev_i}}{N_{obs_i}} \right|}{n} \times 100 \quad (3.13)$$

3.5. AJUSTES NA METODOLOGIA DO HSM PARA EFEITO DA APLICAÇÃO EM RODOVIAS BRASILEIRAS DE PISTA DUPLA

Em função das especificidades das rodovias brasileiras, podem ser necessários ajustes aos critérios de divisão de trechos homogêneos para a aplicação do modelo preditivo do HSM. Nas rodovias de pista dupla selecionadas para o estudo, algumas adequações da metodologia original se fazem necessárias, relacionadas à presença de interseções e à presença de retornos e faixas adicionais.

Nos trechos homogêneos contíguos à interseções foi adotado um afastamento de ao menos 200 metros, tendo por referência o centro da interseção. Esta exclusão parcial dos trechos contíguos à interseções teve por objetivo isolar as influências da interseção, uma vez que, na consideração do histórico de acidentes para o procedimento de calibração, se faz necessária a diferenciação dos acidentes (se estavam relacionados à presença da interseção ou não), e sendo que esta diferenciação requer informações completas e detalhadas das circunstâncias relacionadas à cada acidente ocorrido, informações estas não disponíveis nesta pesquisa.

Nas rodovias selecionadas no estudo, na divisão em THs, uma dificuldade adicional está relacionada à como considerar os retornos do tipo “U”, frequentes nos segmentos viários em análise. Os retornos são dispositivos de uma rodovia que permitem a veículos de uma corrente de tráfego a transferência para a corrente de sentido contrário (DNIT, 2005). Ocorre que o HSM não esclarece sobre a aplicação do método preditivo em retornos nas RPDs. Conforme ilustrado na Figura 3.2, nas proximidades destes dispositivos normalmente há uma variação constante na largura do canteiro central para a acomodação dos retornos, além de faixas para a conversão à esquerda, situações estas que dificultam a aplicação dos CMFs estabelecidos para os THs de RPDs.

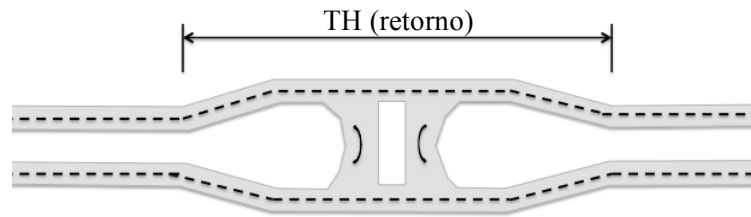


Figura 3.2 – Trecho com dois retornos e variação na largura do canteiro central

No caso específico de RPDs, existe um CMF para faixas de conversão à esquerda apenas na conformação de interseções. Porém, os retornos, uma vez que não são caracterizados pela aproximação de uma ou mais vias secundárias, não podem ser considerados como interseções.

Outra questão importante foi em relação às faixas adicionais existentes em alguns segmentos de RPDs analisados. As faixas adicionais são implantadas buscando aumentar as oportunidades de ultrapassagem. São comumente projetadas em aclives e destinadas especialmente ao tráfego de veículos lentos (DNER, 1999). A Figura 3.3 ilustra a implantação de faixa adicional.

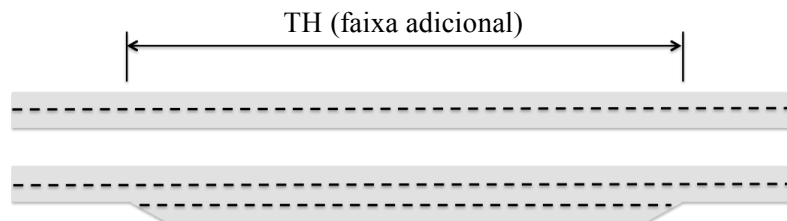


Figura 3.3 – Trecho com faixa adicional

O Manual HSM considera a existência de faixas adicionais apenas no método preditivo de rodovias de pista simples, sendo que a presença ou a ausência destas faixas compõem um dos CMFs deste tipo de configuração viária. No entanto, o Manual não traz qualquer consideração sobre faixas adicionais em RPDs, apenas esclarece que o método preditivo se aplica em RPDs com exatamente quatro faixas (duas por sentido).

Ocorre que, tanto no caso dos retornos como no caso das faixas adicionais, esses são dispositivos frequentes em RPDs no Brasil. A não inclusão de trechos com estas características no procedimento de calibração pode comprometer os resultados. Da mesma

forma, na aplicação posterior do método preditivo em RPDs a partir do Fator de Calibração que exclua estes dispositivos, trechos como estes devem ser desconsiderados.

Diante destas ponderações, estes dispositivos foram incluídos no procedimento de calibração, em uma amostra alternativa, sendo que há THs específicos de faixas adicionais e outros THs específicos de retornos, os quais incluem toda a extensão com variação na seção transversal para acomodação destes dispositivos, conforme ilustrado na Figura 3.2 e na Figura 3.3. Esta amostra alternativa é considerada para uma análise exploratória, e reflete a capacidade do modelo do HSM em prever a frequência de acidentes em retornos e em faixas adicionais.

Considerando os retornos como trechos homogêneos, a dificuldade maior foi na consideração das características na aplicação dos Fatores de Modificação de Acidentes (CMFs), uma vez que a largura do canteiro central varia ao longo deste tipo de trecho homogêneo. Para solucionar esse problema, foi considerada a média da largura do canteiro ao longo do trecho. No caso das faixas adicionais, esta terceira faixa de tráfego normalmente substitui o acostamento externo. Na aplicação do método foram considerados os CMFs padrões da rodovia com relação à largura da faixa de rolamento e também em relação ao acostamento.

4. CALIBRAÇÃO DO MÉTODO PREDITIVO DO HSM PARA TRECHOS RODOVIÁRIOS DE PISTA DUPLA NO BRASIL

4.1. CONSIDERAÇÕES DA APLICAÇÃO DO MÉTODO PREDITIVO DO HSM

4.1.1. SELEÇÃO DAS RODOVIAS PARA O ESTUDO

Foram definidas três diferentes regiões para o procedimento de calibração do modelo do HSM em rodovias federais de pista dupla brasileiras: Minas Gerais (MG), Goiás (GO) e Distrito Federal (DF). O estado de Minas Gerais, conforme dados do Sistema Nacional de Viação - SNV de 2013, apresenta a maior malha rodoviária federal de rodovias de pista dupla, contemplando naquela data 1.013,3 km de RPDs. O estado de Goiás possuía 433,3 km de RPDs federais e o Distrito Federal 120,8 km. Os números apresentados são do ano de 2013 visto que este é o limite temporal deste estudo, que contempla o período de 2011 a 2013.

Inicialmente foram selecionados quatro diferentes segmentos rodoviários em Minas Gerais (MG), duas rodovias no estado de Goiás (GO) e uma no Distrito Federal (DF), conforme apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Segmentos rodoviários de pista dupla selecionados para o estudo

Malha rodoviária federal - 2013		Seleção Estudo					
Estado	Extensão total (km)	BR	km inicial	km final	extensão (km)	Total (km)	%
MG	1013,3	1. 040/MG	423,7	533,1	109,4	278,5	27%
		2. 040/MG	700,5	736,3	35,8		
		3. 050/MG	133,3	207,3	74,0		
		4. 050/MG	74,0	133,3	59,3		
DF	120,8	5. 060/DF	0,0	31,3	31,3	31,3	26%
GO	433,3	6. 060/GO	0,0	94,2	94,2	176,1	41%
		7. 153/GO	621,7	703,6	81,9		

Para a obtenção dos dados necessários à aplicação e calibração do modelo preditivo do HSM nos segmentos rodoviários selecionados foram consultadas diferentes fontes de informação.

Foram selecionadas rodovias nas diferentes regiões que possuíam características adequadas ao modelo de previsão de acidentes do HSM em rodovias de pista dupla, não sendo incluídos segmentos rodoviários de vias expressas e segmentos com mais de duas faixas de rolamento por sentido de tráfego, atendendo às delimitações do modelo em estudo. Com relação à exclusão de vias expressas, o Manual esclarece que, para a aplicação do método preditivo, as

RPDs não devem ter controle total de acessos, embora admita a presença de interseções em dois níveis desde que estas sejam ocasionais, não sendo esta a principal forma de acesso à rodovia.

Os volumes de tráfego foram obtidos através da Semana Nacional de Pesquisa de Tráfego – PNT, promovida pelo Ministério dos Transportes em 2011, ou através de contratos recentes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) relacionados ao Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária, intitulado BR Legal. Na atribuição dos volumes de tráfego em cada ano do estudo foi aplicada uma variação anual de 3%, a partir do ano em que a contagem foi efetuada, conforme estabelecido no Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006).

Os dados das seções transversais das rodovias, como largura das faixas de rolamento e dos acostamentos, foram disponibilizados pelo DNIT por meio dos cadastros do BR Legal ou diretamente pelas Superintendências Regionais (SRs) do DNIT nos estados. As SRs/DNIT foram consultadas também sobre a execução de intervenções nas rodovias selecionadas durante o período de estudo.

Outra base de dados importante durante a delimitação desta pesquisa foi o Sistema Nacional de Viação (SNV), disponibilizado no endereço eletrônico do DNIT, o qual relaciona e codifica, por marcos quilométricos, toda a malha rodoviária federal. Foram consultadas, para cada segmento rodoviário, as planilhas dos anos de 2011 a 2013.

Na segmentação dos elementos viários foram utilizados os recursos disponíveis no programa computacional *Google Earth Pro* (Google, 2015), com imagens de satélite disponíveis para diferentes anos. Dos principais recursos utilizados, têm destaque as ferramentas de medição e o *Street View*, o qual disponibiliza vistas panorâmicas das rodovias. A divisão das rodovias em trechos homogêneos (THs) foi realizada a partir dos dados da seção transversal, das informações de volume de tráfego e com o auxílio do *Street View*, permitindo a identificação das interseções e de locais que presenciam uma variação na seção transversal.

A diferenciação do tipo de ocupação do solo, urbano ou rural, foi embasada nas informações disponíveis nos contratos do BR Legal ou nas informações de segmentos homogêneos disponibilizados pelo Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans) da Universidade

Federal de Santa Catarina (UFSC). Esta distinção entre área urbana e área rural está relacionada às diferenças de densidade e tipo de uso do solo. Nessa definição, a normatização brasileira (DNER, 1999) está em acordo com a normatização americana (AASHTO, 2010) e estabelece 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.

Para o histórico de acidentes, por quilômetro, foi utilizada a base de dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF) dos anos de 2011 a 2013. Na atribuição dos acidentes aos trechos homogêneos, a fim de evitar uma contagem duplicada das ocorrências no limite entre dois THs, foram contabilizados os acidentes localizados no início do trecho até imediatamente antes do fim do trecho. Ou seja, como exemplo, para um trecho homogêneo no intervalo de km 3 ao km 4,5 de uma rodovia, foram considerados os acidentes indicados no km 3 e a partir deste (≥ 3) e os que ocorreram imediatamente antes do fim do trecho ($< 4,5$).

Foi considerado, para todas as rodovias em análise, a ausência de fiscalização eletrônica.

4.1.2. IDENTIFICAÇÃO DOS TRECHOS HOMOGÊNEOS

A identificação dos trechos homogêneos seguiu as diretrizes do Manual HSM para divisão em elementos viários individuais, apresentadas na seção 3.1.1. Nos termos do Manual, um TH apresenta características homogêneas, tais como volume de tráfego, características geométricas e recursos de controle de tráfego (AASHTO, 2010).

A delimitação dos THs foi realizada com o auxílio do *Google Earth Pro*. A partir das imagens de satélite e do recurso *Street View*, e de posse das informações da seção transversal e de volume de tráfego, foram identificados os THs, sendo posicionados marcadores nos pontos iniciais e finais de cada TH. Na presença de interseções, retornos ou faixas adicionais foram adotados os critérios de ajuste apresentados na seção 3.5.

De maneira geral, as diferenças nas características dos trechos limitadas a pequenas extensões não constituíram um novo trecho homogêneo, e sim integraram o TH imediatamente anterior. Por exemplo, defensas metálicas instaladas em uma extensão inferior a 160m não motivaram a divisão em um novo TH. Esta proposição está em acordo com o HSM, o qual estabelece que

THs não devem ter extensão inferior a 160 metros por entender que trechos tão pequenos não afetariam os resultados e apenas aumentariam os esforços na aplicação do método.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS TRECHOS EM ESTUDO

Nos itens a seguir serão apresentadas as rodovias estudadas, sendo detalhadas quais as fontes de dados utilizadas em cada segmento rodoviário.

- 1. Rodovia BR 040/MG

Inicialmente foram levantados os dados desta rodovia entre o km 423,7 (entroncamento BR-135-A) e o km 533,1 (Anel rodoviário de Belo Horizonte), conforme dados do SNV de 2013. Este segmento rodoviário encontra-se nas proximidades das cidades de Paraopeba, Sete Lagoas e Belo Horizonte. Durante a análise dos dados foram rejeitados alguns segmentos desta rodovia: retirado segmento do km 423,7 ao km 471,2 pois estava ainda em obra de duplicação no início de 2011; e retirado segmento do km 508,6 ao km 533,1 por haver diferenças na extensão destes segmentos no PNV de 2011 com relação aos dois anos posteriores.

Dessa forma, o segmento viário do km 471,2 (entroncamento MG-424, para Sete Lagoas) ao km 508,6 (entroncamento MG-432, para Esmeraldas) foi analisado, sendo identificados 19 trechos homogêneos (THs) que, somados, tem 17,85 quilômetros de extensão. Destes, 4 THs possuem faixa adicional e 4 THs são trechos com retornos, os quais apresentam variação na seção transversal para a acomodação destes dispositivos de tráfego.

Foram considerados os dados de volume de tráfego da Semana Nacional de Pesquisa de Tráfego realizada em 2011, do posto de contagem número 31, com um VMDA igual a 25.725. As informações das larguras dos elementos da seção transversal foram disponibilizados pela Superintendência Regional de Minas Gerais do DNIT. A rodovia tem faixas de rolamento de 3,5m, acostamento de 2,5m e canteiro central padrão de 4,8m.

A Tabela 4.2 apresenta os trechos homogêneos identificados na BR 040/MG (km 471,2 ao km 508,6) e traz ainda informações sobre a presença de retornos e faixas adicionais.

Tabela 4.2 – Divisão em trechos homogêneos da BR 040/MG (nº. 1)

Trechos homogêneos	SNV - 2013		Extensão (km)	Observação
	Início	Fim		
1.1	477,60	478,40	0,80	
1.2	478,40	479,20	0,80	Retorno
1.3	479,20	479,60	0,40	
1.4	479,60	480,90	1,30	Faixa adicional
1.5	480,90	482,95	2,05	
1.6	482,95	483,10	0,15	
1.7	483,10	484,30	1,20	Faixa adicional
1.8	484,30	484,50	0,20	Faixa adicional
1.9	484,50	485,40	0,90	Retorno
1.10	485,40	486,40	1,00	Faixa adicional
1.11	486,40	487,60	1,20	
1.12	487,60	489,90	2,30	
1.13	489,90	491,00	1,10	Retorno
1.14	491,00	491,85	0,85	
1.15	491,85	492,50	0,65	
1.16	492,85	493,70	0,85	
1.17	493,70	494,10	0,40	
1.18	494,10	495,00	0,90	Retorno
1.19	495,00	495,80	0,80	
Total			17,85 km	

- 2. Rodovia BR 040/MG

Outro segmento da BR 040 no estado de Minas Gerais, no intervalo entre o km 700,5 ao km 736,3, foi selecionado para ser incluído no procedimento de calibração, porém, sendo constatada uma disparidade entre os marcos quilométricos da rodovia e as medidas através do *Google Earth Pro*, este segmento de RPD foi retirado do estudo.

- 3. Rodovia BR 050/MG

O segmento rodoviário da BR 050 no estado de Minas Gerais foi avaliado entre o km 133,3 (Rio Tijuco) e o km 207,3 (divisa estados MG/SP). Foram retirados do procedimento de calibração a extensão do km 164 ao km 190, por constituir um segmento urbano (cidade de Uberaba), e a extensão do km 190 ao km 207,3, devido à falta de informações completas neste trecho.

O intervalo em estudo, km 133,3 ao km 164, foi dividido em 29 trechos homogêneos, com uma extensão total de 30,70 quilômetros. Este segmento é uma importante via de ligação entre as cidades de Uberlândia e Uberaba.

A Tabela 4.3 apresenta os trechos homogêneos identificados na BR 050/MG (km 133,3 ao km 164) e traz ainda informações sobre a presença de retornos e faixas adicionais.

Tabela 4.3 – Divisão em trechos homogêneos da BR 050/MG (nº. 3)

Trechos homogêneos	SNV - 2013		Extensão (km)	Observação
	Início	Fim		
3.1	133,30	135,04	1,74	
3.2	135,04	135,20	0,16	
3.3	135,20	135,50	0,30	
3.4	135,50	136,40	0,90	retorno
3.5	136,40	140,00	3,60	
3.6	140,00	140,70	0,70	retorno
3.7	140,70	144,70	4,00	
3.8	144,70	145,25	0,55	retorno
3.9	145,25	146,25	1,00	
3.10	146,25	146,90	0,65	faixa adicional e retorno
3.11	146,90	147,50	0,60	faixa adicional
3.12	147,50	147,75	0,25	
3.13	147,75	148,80	1,05	
3.14	148,80	149,45	0,65	retorno
3.15	149,45	151,25	1,80	
3.16	151,25	153,00	1,75	retorno
3.17	153,00	153,60	0,60	faixa adicional
3.18	153,60	154,40	0,80	
3.19	154,40	155,00	0,60	retorno
3.20	155,00	156,20	1,20	
3.21	156,20	156,40	0,20	
3.22	156,40	157,10	0,70	retorno
3.23	157,10	158,20	1,10	
3.24	158,20	159,00	0,80	retorno
3.25	159,00	161,20	2,20	
3.26	161,20	161,70	0,50	retorno
3.27	161,70	162,00	0,30	
3.28	162,00	162,80	0,80	retorno
3.29	162,80	164,00	1,20	
	Total		30,70 km	

Os volumes de tráfego assim como os dados da seção transversal foram disponibilizados pelo DNIT através de um contrato do BR Legal. A contagem de tráfego considerada foi realizada em 2013, com VMDA igual a 9.752. A rodovia tem faixas de rolamento de 3,6m, acostamento de 2,5m e canteiro central padrão de 6m.

- 4. Rodovia BR 050/MG

O segmento rodoviário da BR 050 no estado de Minas Gerais foi avaliado entre o km 74 (entroncamento com a BR 365-B) e o km 133,3 (Rio Tijuco). O intervalo em estudo foi dividido em 29 trechos homogêneos, com uma extensão total de 51,30 quilômetros. Este segmento, contíguo ao segmento número 3, é uma importante via de ligação entre as cidades de Uberlândia e Uberaba.

A Tabela 4.4 apresenta os trechos homogêneos identificados na BR 050/MG (km 74 ao km 133,3) e traz ainda informações sobre a presença de retornos.

Tabela 4.4 - Divisão em trechos homogêneos da BR 050/MG (nº. 4)

Trechos homogêneos	SNV - 2013		Extensão (km)	Observação
	Início	Fim		
4.1	82	82,5	0,5	
4.2	82,5	82,8	0,3	
4.3	82,8	85,23	2,43	
4.4	85,23	86,9	1,67	Retorno
4.5	86,9	89,1	2,2	
4.6	89,1	90,4	1,3	Retorno
4.7	90,4	92,6	2,2	
4.8	92,6	93,6	1,0	Retorno
4.9	93,6	99,6	6,0	
4.10	99,6	100,7	1,1	Retorno
4.11	100,7	102,35	1,65	
4.12	102,35	103,5	1,15	Retorno
4.13	103,5	105,6	2,1	
4.14	105,6	106,6	1,0	Retorno
4.15	106,6	109,5	2,9	
4.16	109,5	110,4	0,9	Retorno
4.17	110,4	112,2	1,8	
4.18	112,2	113,2	1,0	Retorno
4.19	113,2	115,3	2,1	
4.20	115,3	116,3	1,0	Retorno
4.21	116,3	117,1	0,8	
4.22	117,1	117,8	0,7	Retorno
4.23	117,8	118,8	1,0	
4.24	118,8	119,8	1,0	Retorno
4.25	119,8	123,4	3,6	
4.26	123,4	124,4	1,0	Retorno
4.27	124,4	130,6	6,2	
4.28	130,6	131,8	1,2	Retorno
4.29	131,8	133,3	1,5	
	Total		51,30 km	

Os volumes de tráfego assim como os dados da seção transversal foram disponibilizados pelo DNIT, através de um contrato do BR Legal. A contagem de tráfego considerada foi realizada em 2013, com VMDA igual a 10.500 veículos. A rodovia tem faixas de rolamento de 3,6m, acostamento de 2,5m e canteiro central padrão de 6m.

- 5. Rodovia BR 060/DF

A rodovia foi analisada em toda a sua extensão nos limites do Distrito Federal, do km 0,0 (entroncamento BR 251, Brasília) ao km 31,3 (divisa DF/ GO). A extensão do km 0 ao km 9,4 constitui um segmento urbano (cidade Recanto das Emas), não sendo incluído no procedimento de calibração.

Ao todo foram obtidos 10 trechos homogêneos que, quando somados, têm uma extensão de 15,60 km. A rodovia tem faixas de rolamento de 3,5m, acostamento de 2,5m e canteiro central de 10m, segundo informações disponibilizadas pela Superintendência do DNIT nos estados de GO e DF. O volume de tráfego varia ao longo deste segmento, com valores maiores nos trechos iniciais: km 13 ao km 20 com VMDA igual a 26.686 veículos e km 20 ao km 31,1 com VMDA igual a 21.174 veículos. A contagem do volume de tráfego foi realizada em 2013 através de um contrato do BR Legal.

A Tabela 4.5 apresenta os trechos homogêneos identificados na BR 060/DF e traz ainda informações sobre a presença de retornos.

Tabela 4.5 - Divisão em trechos homogêneos da BR 060/DF (nº. 5)

Trechos homogêneos	SNV - 2013		Extensão (km)	Observação
	Início	Fim		
5.1	13,8	15,8	2,0	
5.2	15,8	16,5	0,7	Retorno
5.3	16,5	17,9	1,4	
5.4	17,9	18,7	0,8	Retorno
5.5	18,7	20	1,3	
5.6	20	22,2	2,2	
5.7	22,2	23	0,8	Retorno
5.8	23	26,1	3,1	
5.9	26,1	27	0,9	Retorno
5.10	27	29,4	2,4	
Total			15,60 km	

- 6. Rodovia BR 060/GO

A BR 060, do km 0,0 (divisa DF/ GO) ao km 94,2 (entroncamento BR 153-A, para Anápolis), faz parte da ligação entre Brasília/DF e Goiânia/GO.

Durante a análise deste segmento viário foi rejeitado o trecho do km 0,0 (divisa DF/GO) ao km 60,4 (travessia urbana em Abadiânia), por ter havido uma diferença na extensão deste segmento no SNV 2013 com relação aos anos anteriores. Esta diferença comprometeria a exatidão dos marcos quilométricos na divisão em trechos homogêneos. Dessa forma, foi incluído no procedimento de calibração o trecho do km 60,4 ao km 94,2. Foram definidos 23 trechos homogêneos, que representam 22,45 km.

A Tabela 4.6 apresenta os trechos homogêneos identificados na BR 060/GO e traz ainda informações sobre a presença de retornos e faixas adicionais.

Tabela 4.6 - Divisão em trechos homogêneos da BR 060/GO (n°. 6)

Trechos homogêneos	SNV - 2013		Extensão (km)	Observação
	Início	Fim		
6.1	63,70	65,00	1,3	
6.2	65,00	65,90	0,9	Retorno
6.3	65,90	66,90	1,0	
6.4	66,90	67,80	0,9	Retorno
6.5	67,80	68,30	0,5	
6.6	68,30	69,10	0,8	Faixa Adicional
6.7	69,10	69,30	0,2	
6.8	69,30	70,10	0,8	Retorno
6.9	70,10	71,00	0,9	Faixa Adicional
6.10	71,00	72,20	1,2	Retorno
6.11	72,20	73,20	1,0	
6.12	73,20	73,85	0,65	
6.13	73,85	74,70	0,85	Faixa Adicional
6.14	74,70	74,90	0,2	
6.15	74,90	75,15	0,25	Faixa Adicional
6.16	75,15	76,10	0,95	Retorno
6.17	76,10	77,90	1,8	Faixa Adicional
6.18	77,90	78,60	0,7	
6.19	79,45	82,20	2,75	
6.20	82,20	83,20	1,0	Retorno
6.21	83,20	85,40	2,2	
6.22	85,40	86,30	0,9	Retorno
6.23	86,30	87,00	0,7	
	Total		22,45 km	

Nesse trecho foi identificada uma diferença de 400m nos marcos quilométricos do SNV de 2013 com relação aos anos anteriores (2012 e 2011). Como esta diferença é constante ao longo de todo o segmento em estudo, e visto que a divisão dos trechos homogêneos foi realizado com dados de 2013, no procedimento de calibração foram corrigidos os marcos quilométricos de 2012 e 2011. Esta correção se faz importante na consideração do histórico de acidentes de cada ano, por quilômetro.

Para esta rodovia, foram considerados os dados de volume de tráfego da Semana Nacional de Pesquisa de Tráfego, realizada em 2011, com VMDA igual a 17.211 veículos. As informações da seção transversal foram disponibilizadas pela SR/DNIT de GO/DF. As faixas de rolamento tem uma largura de 3,5m, acostamentos 2,5m e canteiro central variável ao longo dos trechos.

- 7. Rodovia BR 153/GO

A rodovia foi analisada do km 621,7 (próximo à Morrinhos/ GO) ao km 703,6 (próximo à Itumbiara/ GO), em uma extensão total de 81,9 quilômetros. Foram identificados 33 trechos homogêneos que somados representam 64,70 quilômetros.

Os dados da seção transversal foram disponibilizados pela Superintendência Regional do DNIT nos estados de Goiás e Distrito Federal. A rodovia, em toda a extensão em análise, tem faixas de 3,6 metros de largura, acostamento externo de 2,5 metros e canteiro central padrão de 10 metros. O volume de tráfego considerado é resultado da Semana Nacional de Pesquisa de Tráfego ocorrida em 2011, com VMDA igual a 12.473 veículos.

Foi identificada uma alteração no SNV no ano de 2013 com relação aos anos anteriores. De forma constante, os marcos quilométricos em todo o segmento tiveram um acréscimo de 100m. Tendo como referência dados do ano de 2012 e buscando corrigir a diferença do SNV, foram ajustados os limites dos trechos homogêneos do ano de 2013.

A Tabela 4.7 apresenta os trechos homogêneos identificados na BR 153/GO e traz ainda informações sobre a presença de retornos.

Tabela 4.7 - Divisão em trechos homogêneos da BR 153/GO (nº. 7)

Trechos homogêneos	SNV - 2013		Extensão (km)	Observação
	Início	Fim		
7.1	624,10	625,30	1,20	
7.2	625,30	625,90	0,60	Retorno
7.3	625,90	627,60	1,70	
7.4	627,60	628,10	0,50	Retorno
7.5	628,10	632,20	4,10	
7.6	633,90	635,70	1,80	
7.7	636,60	637,90	1,30	
7.8	637,90	638,50	0,60	Retorno
7.9	638,50	642,20	3,70	
7.10	642,20	643,10	0,90	Retorno
7.11	643,10	647,10	4,00	
7.12	647,10	647,70	0,60	Retorno
7.13	647,70	653,00	5,30	
7.14	653,00	653,70	0,70	Retorno
7.15	653,70	659,70	6,00	
7.16	661,10	663,80	2,70	
7.17	663,80	664,60	0,80	Retorno
7.18	664,60	666,70	2,10	
7.19	667,90	668,70	0,80	
7.20	668,70	669,00	0,30	
7.21	669,00	669,60	0,60	Retorno
7.22	669,60	670,40	0,80	
7.23	670,40	671,20	0,80	Retorno
7.24	671,20	671,53	0,33	
7.25	671,53	671,70	0,17	
7.26	671,70	675,10	3,40	
7.27	676,20	682,10	5,90	
7.28	682,10	683,10	1,00	Retorno
7.29	683,10	688,30	5,20	
7.30	688,30	689,90	1,60	Retorno
7.31	689,90	692,30	2,40	
7.32	692,30	693,50	1,20	Retorno
7.33	693,50	695,10	1,60	
	Total		64,70 km	

Para todas as rodovias analisadas o relatório da divisão em trechos homogêneos está apresentado no Apêndice A, Tabelas A.1 a A.6. Dentre as rodovias selecionadas não foram obtidos trechos de pista dupla sem divisão central.

4.3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Na sequência metodológica da pesquisa, após a divisão das rodovias em análise em trechos homogêneos, foi realizada uma aplicação direta do modelo preditivo do HSM (modelo não calibrado) em todos os trechos homogêneos e para os três anos do estudo. Em uma etapa seguinte, a partir da comparação dos resultados da função original do HSM (sem calibrar) e dos números do histórico de acidentes nos elementos viários em análise, foi realizado o procedimento de calibração.

Devido às características geográficas do Distrito Federal, optou-se por vincular esta jurisdição ao estado de Goiás no procedimento de calibração, constituindo a região GO/DF. Dessa forma, o procedimento de calibração foi realizado em duas diferentes regiões: MG e GO/DF.

Para possibilitar uma análise mais ampla e detalhada dos resultados, foram delimitados três diferentes cenários:

- Cenário 1, Amostra Padrão: avaliação da transferência da SPF do HSM nas RPDs selecionadas. Neste primeiro cenário a calibração e utilização do modelo foi restrita aos THs que atendem diretamente às especificações do Manual, sendo desconsiderados todos os THs caracterizados por retornos e por faixas adicionais. Além desses, foram desconsiderados ainda dois trechos homogêneos considerados atípicos, 6.12 e 7.16, por estarem em área com maior ocupação às margens da rodovia. Na calibração do modelo considerando a Amostra Padrão foram obtidos 43 THs em MG e 36 THs em GO/DF.
- Cenário 2, Amostra Padrão *versus* Amostra Total: nível exploratório. Neste segundo cenário é feita a calibração e utilização do modelo considerando uma Amostra Total, situação em que os THs caracterizados por retornos e faixas adicionais são incluídos no procedimento de calibração e de utilização. A Amostra Total inclui todos os THs inicialmente identificados, desconsiderando apenas o TH 3.10 por haver retorno e faixa adicional concomitantes, e os THs 6.12 e 7.16 por constituírem trechos com maior ocupação de solo às margens da rodovia. Dessa forma, a Amostra Total possui 76 THs em MG e 64 THs em GO/DF. Neste Cenário, os resultados obtidos a partir da Amostra Total são comparados aos obtidos na Amostra Padrão, em uma análise exploratória.
- Cenário 3, Amostra Retornos e Amostra Faixas Adicionais: nível exploratório. Neste

último cenário é feita uma análise separadamente, apenas em nível exploratório, da calibração de duas amostras alternativas: Amostra Retornos, restrita aos retornos (27 THs em MG e 23 THs em GO/DF), e uma Amostra Faixas Adicionais, restrita às faixas adicionais (6 THs em MG e 5 THs em GO/DF). O TH 3.10 não foi incluído nas amostras por haver retorno e faixa adicional concomitantes.

Do ponto de vista conceitual, o Cenário 1, com a calibração da Amostra Padrão, é o que permite efetivamente testar se o método se aplica às condições das rodovias brasileiras de pista dupla, respondendo à hipótese inicial do estudo sobre a transferibilidade do modelo HSM. Os Cenários 2 e 3 fornecem ferramentas de avaliação do impacto da inclusão dos dispositivos de retornos e faixas adicionais no procedimento de calibração do modelo preditivo do HSM para RPDs. Dessa forma, as amostras alternativas (Amostra Total, Amostra Retornos e Amostra Faixas adicionais) são consideradas apenas para uma avaliação exploratória da necessidade do HSM considerar fatores de ajuste para esses dispositivos dos segmentos viários.

A fim de se avaliar a qualidade de ajuste dos modelos preditivos calibrados nas diferentes amostras, sendo conhecidos os Fatores de Calibração, os modelos calibrados foram aplicados aos THs do estudo, ou seja, os mesmos THs utilizados no procedimento de calibração, em cada região e para cada amostra considerada, tendo como referência sempre o intervalo temporal de 2011 a 2013. Para um aprimoramento dos resultados foi ainda aplicado o método EB por elemento individual. Os subitens a seguir apresentam os resultados obtidos nestas diferentes etapas metodológicas em cada uma das amostras consideradas.

4.3.1. APLICAÇÃO DIRETA DO MODELO PREDITIVO (SEM CALIBRAR)

Como parte do procedimento de calibração do modelo preditivo do HSM, inicialmente foi realizada a aplicação direta do modelo original, sendo considerado um Fator de Calibração C_x igual a um.

As Tabelas 4.8 e 4.9 apresentam o resultado da multiplicação dos diferentes CMFs e o número previsto de acidentes calculado (N_{prev}) em cada trecho homogêneo e para todo o período considerado (2011 a 2013), assim como informações relacionadas aos THs, nas regiões de MG e GO/DF, respectivamente. É importante entender que os resultados da

aplicação direta do modelo preditivo são independentes em cada TH, de tal forma que os valores serão os mesmos, por TH, para as diferentes amostras delimitadas.

Tabela 4.8- Número previsto de acidentes (modelo não calibrado) e os Fatores de Modificação de Acidentes multiplicados (ICMF) por TH, região MG, 2011 a 2013

TH	Ext. (km)	ICMF	Obs.	N _{prev} *	TH	Ext. (km)	ICMF	Obs.	N _{prev} *
1.1	0,80	1,04		8,12	3.21	0,20	1,13		0,75
1.2	0,80	0,95	R	7,47	3.22	0,70	0,99	R	2,30
1.3	0,40	1,04		4,06	3.23	1,10	1,02		3,75
1.4	1,30	1,04	FA	13,20	3.24	0,80	0,99	R	2,63
1.5	2,05	1,04		20,81	3.25	2,20	1,02		7,49
1.6	0,15	1,01		1,48	3.26	0,50	0,99	R	1,64
1.7	1,20	1,01	FA	11,84	3.27	0,30	1,02		1,02
1.8	0,20	1,04	FA	2,03	3.28	0,80	0,99	R	2,63
1.9	0,90	0,95	R	8,40	3.29	1,20	1,02		4,09
1.10	1,00	1,04	FA	10,15	4.1	0,5	1,02		1,84
1.11	1,20	1,04		12,18	4.2	0,3	1,09		1,18
1.12	2,30	1,01		22,70	4.3	2,43	1,02		8,94
1.13	1,10	0,95	R	10,27	4.4	1,67	0,96	R	5,78
1.14	0,85	1,04		8,63	4.5	2,2	1,02		8,10
1.15	0,65	1,01		6,42	4.6	1,3	0,96	R	4,50
1.16	0,85	1,01		8,39	4.7	2,2	1,02		8,10
1.17	0,40	1,04		4,06	4.8	1	0,96	R	3,46
1.18	0,90	0,95	R	8,40	4.9	6	1,02		22,08
1.19	0,80	1,04		8,12	4.10	1,1	0,96	R	3,81
3.1	1,74	1,02		5,93	4.11	1,65	1,02		6,07
3.2	0,16	1,07		0,57	4.12	1,15	0,96	R	3,98
3.3	0,30	1,02		1,02	4.13	2,1	1,02		7,73
3.4	0,90	0,99	R	2,96	4.14	1	0,96	R	3,46
3.5	3,60	1,02		12,26	4.15	2,9	1,02		10,67
3.6	0,70	1,00	R	2,33	4.16	0,9	0,96	R	3,12
3.7	4,00	1,02		13,62	4.17	1,8	1,02		6,62
3.8	0,55	0,99	R	1,81	4.18	1	0,96	R	3,46
3.9	1,00	1,02		3,41	4.19	2,1	1,02		7,73
3.11	0,60	1,02	FA	2,04	4.20	1	0,96	R	3,46
3.12	0,25	1,05		0,88	4.21	0,8	1,02		2,94
3.13	1,05	1,02		3,58	4.22	0,7	0,96	R	2,42
3.14	0,65	0,99	R	2,14	4.23	1	1,02		3,68
3.15	1,80	1,02		6,13	4.24	1	0,96	R	3,46
3.16	1,75	0,99	R	5,75	4.25	3,6	1,02		13,25
3.17	0,60	1,02	FA	2,04	4.26	1	0,96	R	3,46
3.18	0,80	1,02		2,72	4.27	6,2	1,02		22,82
3.19	0,60	0,99	R	1,97	4.28	1,2	0,96	R	4,15
3.20	1,20	1,02		4,09	4.29	1,5	1,02		5,52
Total									464,04

Abreviações: N_{prev}* = número previsto de acidentes, modelo não calibrado; R = Retorno; FA = Faixa Adicional; ICMF = multiplicação dos CMFs.

Tabela 4.9 - Número previsto de acidentes (modelo não calibrado) e os Fatores de Modificação de Acidentes multiplicados (ΠCMF) por TH, região GO/DF, 2011 a 2013

TH	Ext. (km)	ΠCMF	Obs.	N _{prev} *	TH	Ext. (km)	ΠCMF	Obs.	N _{prev} *
5.1	2,0	0,92		17,54	7.1	1,20	1,00		5,50
5.2	0,7	0,89	R	5,98	7.2	0,60	0,96	R	2,65
5.3	1,4	1,00		13,46	7.3	1,70	1,00		7,79
5.4	0,8	0,98	R	7,49	7.4	0,50	0,96	R	2,21
5.5	1,3	1,00		12,50	7.5	4,10	1,00		18,79
5.6	2,2	1,00		16,59	7.6	1,80	1,00		8,25
5.7	0,8	0,98	R	5,88	7.7	1,30	1,00		5,96
5.8	3,1	1,00		23,38	7.8	0,60	0,96	R	2,65
5.9	0,9	0,98	R	6,61	7.9	3,70	1,00		16,96
5.10	2,4	1,00		18,10	7.10	0,90	0,96	R	3,97
6.1	1,3	0,98		8,18	7.11	4,00	1,00		18,33
6.2	0,9	0,96	R	5,57	7.12	0,60	0,96	R	2,65
6.3	1	0,98		6,29	7.13	5,30	1,00		24,29
6.4	0,9	0,96	R	5,57	7.14	0,70	0,96	R	3,09
6.5	0,5	0,98		3,15	7.15	6,00	1,00		27,50
6.6	0,8	0,98	FA	5,03	7.17	0,80	0,96	R	3,53
6.7	0,2	0,98		1,26	7.18	2,10	1,00		9,62
6.8	0,8	0,96	R	4,95	7.19	0,80	1,00		3,67
6.9	0,9	0,98	FA	5,66	7.20	0,30	1,00		1,37
6.10	1,2	0,96	R	7,43	7.21	0,60	0,96	R	2,65
6.11	1	0,98		6,29	7.22	0,80	1,00		3,67
6.13	0,85	0,98	FA	5,35	7.23	0,80	0,96	R	3,53
6.14	0,2	0,98		1,26	7.24	0,33	1,00		1,51
6.15	0,25	0,98	FA	1,57	7.25	0,17	1,00		0,78
6.16	0,95	0,96	R	5,88	7.26	3,40	1,00		15,58
6.17	1,8	0,98	FA	11,32	7.27	5,90	1,00		27,04
6.18	0,7	1,03		4,63	7.28	1,00	0,96	R	4,41
6.19	2,75	0,98		17,30	7.29	5,20	1,00		23,83
6.20	1	0,96	R	6,19	7.30	1,60	0,96	R	7,06
6.21	2,2	0,98		13,84	7.31	2,40	1,00		11,00
6.22	0,9	0,96	R	5,57	7.32	1,20	0,96	R	5,29
6.23	0,7	0,98		4,40	7.33	1,60	1,00		7,33
Total									546,65

Abreviações: N_{prev}* = número previsto de acidentes, modelo não calibrado; R = Retorno; FA = Faixa Adicional; ΠCMF = multiplicação dos CMFs.

No Apêndice A são apresentadas as tabelas completas (Tabelas A.7 a A.14) com o número de acidentes previstos (modelo original, sem calibração) e o número de acidentes observados, por ano e por trecho homogêneo, ao longo dos três anos analisados. As Tabelas são específicas para cada amostra e para cada uma das regiões em estudo e trazem os resultados iniciais da aplicação do modelo do HSM nas diferentes amostras. Nestas tabelas está indicado também, como uma informação complementar, um fator que representa a relação entre o número de acidentes observado e o número previsto pelo modelo, em cada TH, equivalente a um Fator de Calibração pontual.

Os Fatores de Calibração pontuais (F_p), por TH, fornecem uma informação sobre como a calibração varia nos THs, indicando se o método original (sem calibração) subestima o número de acidentes nas RPDs estudadas ($F_p > 1$) ou se o método superestima o número de acidentes ($F_p < 1$).

4.3.2. CENÁRIO 1: AMOSTRA PADRÃO

4.3.2.1. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO

O procedimento de calibração foi realizado considerando as duas diferentes regiões e a Amostra Padrão. A Tabela 4.10 apresenta o resultado da calibração (C_x) em cada região estudada, com informações dos trechos homogêneos incluídos, em número e em extensão, e o número total de acidentes observados no período de 2011 a 2013. Como uma informação adicional, nesta tabela estão representados também os Fatores de Calibração obtidos separadamente em cada um dos seis segmentos viários em estudo.

Tabela 4.10 - Fator de Calibração obtido por rodovia e por região para o Cenário 1: Amostra Padrão

		Amostra Padrão	
		MG	GO/DF
n°. THs		43	36
N_{obs} total (3 anos)		743	644
Extensão total (km)		68,63	75,05
C_x		2,37	1,58
Fator de Calibração por rodovia			
1. BR 040 MG	C_{x-1}	2,51	
3. BR 050 MG	C_{x-3}	2,13	
4. BR 050 MG	C_{x-4}	2,39	
5. BR 060 DF	C_{x-5}		1,58
6. 060 GO	C_{x-6}		2,03
7. 153 GO	C_{x-7}		1,46

4.3.2.2. APLICAÇÃO DO MODELO PREDITIVO CALIBRADO E DO MÉTODO EB

Tendo sido determinados os Fatores de Calibração relacionados à cada região ($C_x = 2,37$ em MG e $C_x = 1,58$ em GO/DF), foram obtidos os números previstos de acidentes em cada trecho homogêneo a partir da aplicação do modelo preditivo calibrado. Como era esperado, a aplicação do modelo calibrado ao mesmo conjunto de dados utilizado no procedimento de

calibração resulta em um número previsto de acidentes (N_{prev}) total igual ao número observado de acidentes ao longo do período de estudo. Em sequência, foi aplicado o método EB por elemento individual, em cada trecho homogêneo, tendo por referência os anos de 2011 a 2013.

Considerando a Amostra Padrão, a Tabela 4.11 e a Tabela 4.12 apresentam os resultados da utilização do modelo preditivo calibrado ($N_{previsto}$) e da aplicação do método EB ($N_{esperado}$) em cada TH e para os três anos em estudo e, ao final, os valores totais para o conjunto de elementos estudados da região, nas regiões de MG e GO/DF, respectivamente.

Tabela 4.11 – Resultados da utilização do modelo calibrado e aplicação do método EB, por TH – Amostra Padrão, região MG (2011 a 2013)

TH	N_{prev}	N_{obs}	N_{esp}	TH	N_{prev}	N_{obs}	N_{esp}	TH	N_{prev}	N_{obs}	N_{esp}
1.1	19,24	35	33,29	3.7	32,28	22	24,73	4.5	19,19	15	16,05
1.3	9,62	17	16,20	3.9	8,07	13	11,69	4.7	19,19	21	20,54
1.5	49,32	45	45,47	3.12	2,08	3	2,76	4.9	52,33	38	41,60
1.6	3,51	15	13,72	3.13	8,47	8	8,13	4.11	14,39	22	20,09
1.11	28,87	14	15,61	3.15	14,53	12	12,67	4.13	18,31	22	21,07
1.12	53,79	48	48,64	3.18	6,46	3	3,92	4.15	25,29	21	22,08
1.14	20,45	18	18,27	3.20	9,68	14	12,85	4.17	15,70	9	10,68
1.15	15,20	8	8,80	3.21	1,78	5	4,21	4.19	18,31	15	15,83
1.16	19,88	15	15,54	3.23	8,88	11	10,44	4.21	6,98	9	8,49
1.17	9,62	23	21,55	3.25	17,75	14	15,00	4.23	8,72	20	17,17
1.19	19,24	25	24,38	3.27	2,42	1	1,38	4.25	31,40	20	22,86
3.1	14,04	10	11,08	3.29	9,68	6	6,98	4.27	54,07	54	54,02
3.2	1,35	0	0,35	4.1	4,36	7	6,34	4.29	13,08	18	16,76
3.3	2,42	1	1,38	4.2	2,79	0	0,67				
3.5	29,05	29	29,01	4.3	21,19	37	33,03				
Total									743,00	743	745,32

Tabela 4.12 – Resultados da utilização do modelo calibrado e da aplicação do método EB, por TH – Amostra Padrão, região GO/DF (2011 a 2013)

TH	N_{prev}	N_{obs}	N_{esp}	TH	N_{prev}	N_{obs}	N_{esp}	TH	N_{prev}	N_{obs}	N_{esp}
5.1	27,76	8	11,44	6.18	7,32	1	2,38	7.15	43,52	56	52,41
5.3	21,30	11	12,66	6.19	27,38	42	38,68	7.18	15,23	13	13,64
5.5	19,78	21	20,80	6.21	21,90	29	27,39	7.19	5,80	8	7,37
5.6	26,26	17	18,82	6.23	6,97	4	4,67	7.20	2,18	2	2,05
5.8	37,00	36	36,20	7.1	8,70	5	6,06	7.22	5,80	6	5,94
5.10	28,64	67	59,45	7.3	12,33	14	13,52	7.24	2,39	2	2,11
6.1	12,94	9	9,90	7.5	29,74	59	50,59	7.25	1,24	3	2,49
6.3	9,96	6	6,90	7.6	13,06	7	8,74	7.26	24,66	16	18,49
6.5	4,98	9	8,09	7.7	9,43	4	5,56	7.27	42,79	37	38,66
6.7	1,99	1	1,23	7.9	26,84	18	20,54	7.29	37,71	25	28,65
6.11	9,96	34	28,54	7.11	29,01	23	24,73	7.31	17,41	21	19,97
6.14	1,99	-	0,45	7.13	38,44	20	25,30	7.33	11,60	10	10,46
Total									644,00	644	644,89

A Tabela A.15 e a Tabela A.16, no Apêndice A, apresentam os resultados da aplicação do método EB, com a indicação do fator de ponderação (w) e do parâmetro de superdispersão (k) em cada TH, para cada região e considerando a Amostra Padrão.

A Tabela 4.13 apresenta um resumo dos valores obtidos na aplicação do modelo preditivo do HSM nas diferentes condições: modelo original sem calibrar, modelo calibrado e modelo calibrado em conjunto com o método EB, além do número real de acidentes (N_{obs}).

Tabela 4.13 - Resultado da aplicação do modelo preditivo por região (Amostra Padrão)

Cenário 1	Amostra Padrão	
	MG	GO/DF
N_{obs}	743,00	644,00
N_{prev} (Modelo sem calibrar)	313,52	406,90
N_{prev} (Modelo calibrado)	743,00	644,00
N_{esp} (Método EB)	745,32	644,89

4.3.2.3. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE AJUSTE DO MODELO CALIBRADO

Tendo sido calibrado o modelo de previsão de acidentes em RPDs nas duas regiões, é importante avaliar de que forma estes modelos calibrados se ajustam aos dados locais. Para isso foram utilizadas algumas medidas de qualidade de ajuste convencionais em estudos de modelagem de acidentes: o pseudo- R^2 proposto por Efron (Hardin e Hilbe, 2007), o Desvio médio absoluto (MAD) e o Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE). Os resultados das medidas de qualidade de ajuste estão representados na Tabela 4.14, por região.

Tabela 4.14 - Medidas de qualidade de ajuste no Cenário 1 (Amostra Padrão), regiões MG e GO/DF

	Amostra Padrão	
	MG	GO/DF
C_x	2,37	1,58
	Modelo calibrado	
R^2_{Efron}	0,69	0,53
MAD	5,54	7,81
MAPE	41,43%	66,31%
	Modelo calibrado + Método EB	
R^2_{Efron}	0,99	0,97
MAD	1,10	1,90
MAPE	8,96%	15,67%

Na avaliação da qualidade de ajuste do modelo calibrado, o método gráfico CURE, que também é usual na avaliação desses modelos (D'Agostino, 2014, e Cunto *et al.*, 2015), não foi aplicado pois os THs do estudo apresentam pouca variação nos valores de volume de tráfego, com dados de VMDA, em geral, constantes em cada rodovia. Nesse caso, a plotagem CURE não se mostrou uma referência adequada uma vez que não há valores distribuídos ao longo do eixo das abcissas (eixo x) do gráfico (no caso, valores de VMDA). As outras variáveis do modelo, como por exemplo as medidas relacionadas à seção transversal, da mesma forma, também apresentam pouca variação em seus valores nos diferentes THs.

Na interpretação dos resultados foram utilizados como referência outros estudos de transferência de SPFs do HSM, os quais concluíram que a transferência dos modelos do HSM são uma alternativa efetiva: $R^2_{\text{Efron}} = 0,76$ em D'Agostino (2014); MAPE variando de 17% a 53% em Cunto *et al.* (2015); MAD = 2,1 acidentes/ano (média de 6,5) e MAD = 2,5 acidentes/ano (média 4,3) em Cunto *et al.* (2015).

a) Região MG

Em uma comparação dos resultados entre as duas regiões em estudo, a região MG apresentou um melhor ajuste do modelo calibrado aos dados reais, com um maior valor de R^2_{Efron} (0,69) e menor valor de MAPE e MAD (Tabela 4.14). Um menor valor de MAD indica uma menor dispersão dos dados, sugerindo que a amostra é mais homogênea. Para esta região, o MAD obtido foi de 5,54 acidentes/TH para o período de 3 anos, sendo que a média de acidentes observados no período é de 17,28 acidentes/TH. E ainda, em uma análise dos valores de MAD por ano, foram obtidos os seguintes valores: Ano 2011, MAD igual a 1,84 acidentes/TH e média de acidentes observados igual a 5,26 acidentes/TH; Ano 2012, MAD igual a 2,49 acidentes/TH e média de acidentes observados igual a 5,37 acidentes/TH; e Ano 2013, MAD igual a 3,00 acidentes/TH e média de acidentes observados igual a 6,65 acidentes/TH. O MAPE forneceu um valor de 41,43%. Tendo como referência outros estudos de transferência de SPFs do HSM (D'Agostino, 2014 e Cunto *et al.*, 2015), os resultados das medidas de qualidade de ajuste são tidos como satisfatórios.

Os resultados das medidas de qualidade de ajuste do modelo calibrado em conjunto com o método EB indicam um excelente ajuste do modelo refinado ($R^2_{\text{Efron}} = 0,99$; MAD = 1,10 e MAPE = 8,96%).

Os Fatores de Calibração pontuais (Fp), obtidos em cada um dos trechos homogêneos na calibração da Amostra Padrão na região MG, estão representados na Figura 4.1 e na Figura 4.2. Para possibilitar uma melhor visualização da variação do Fator de Calibração pontual nos diferentes THs, foi incluído no gráfico o Fator de Calibração (Cx) relacionado ao conjunto de THs da região.

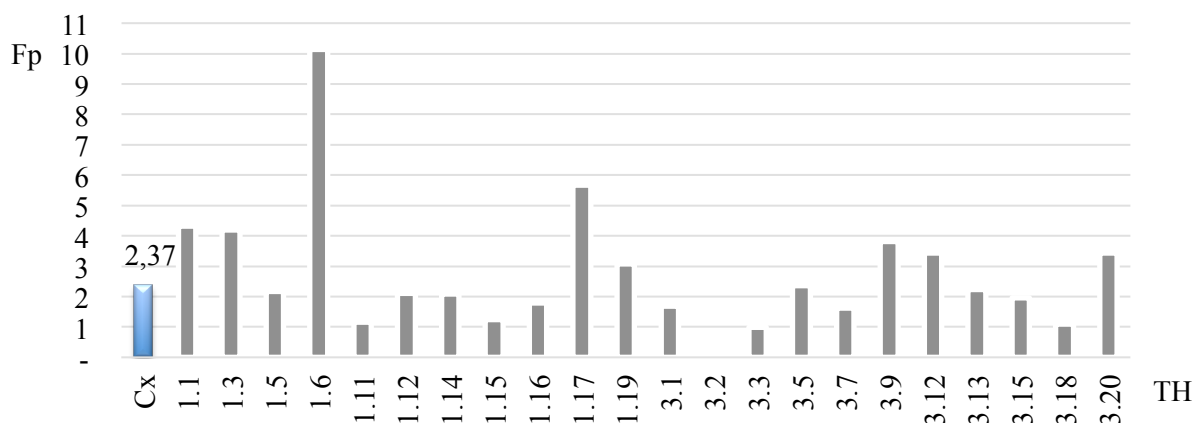


Figura 4.1 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região MG e para a Amostra Padrão (TH 1.1 ao TH 3.20)

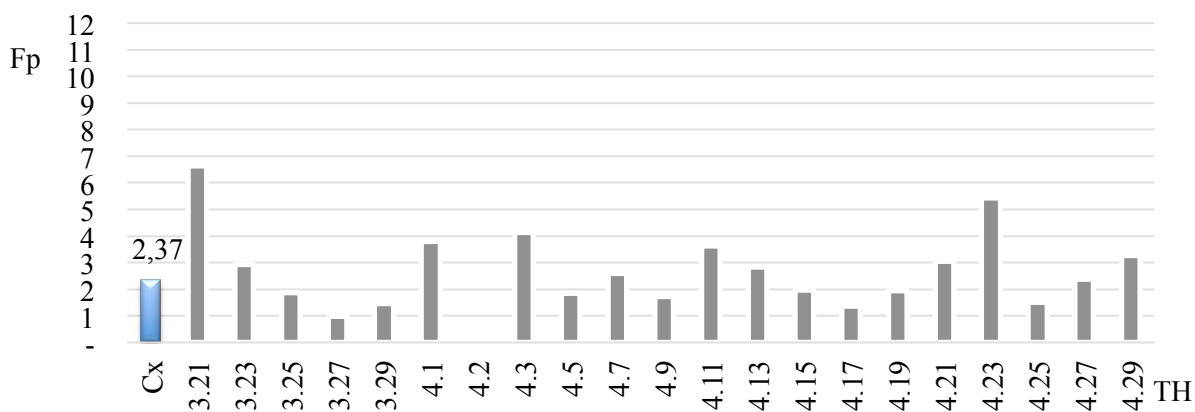


Figura 4.2 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região MG e para a Amostra Padrão (TH 3.21 ao TH 4.29)

Estes recursos gráficos permitem constatar que os Fatores de Calibração pontuais têm grande variação nos diferentes THs, não apresentando um comportamento constante. Além disso, de maneira predominante, o modelo preditivo original (sem calibração) subestima o número de acidentes nos THs do universo analisado ($Fp > 1$). É possível identificar ainda alguns trechos homogêneos que se destacam com um Fp excessivo quando comparado aos demais, como por exemplo nos THs 1.6, 1.17, 3.21 e 4.23, com $Fp > 5$.

Em uma representação gráfica, foi plotado o N_{previsto} versus o $N_{\text{observado}}$ (Figura 4.3). Na Amostra Padrão e para a região MG, a análise gráfica não indica uma tendência constantes de superestimação ou subestimação do modelo calibrado, sendo que os pontos do gráfico estão dispersos em relação à linha diagonal que representa 45°.

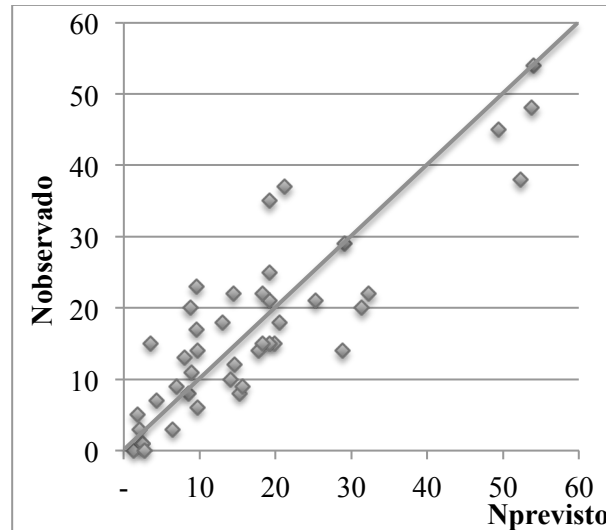


Figura 4.3 - N_{previsto} versus $N_{\text{observado}}$, região MG, Amostra Padrão

A Figura 4.4 representa graficamente a plotagem do $N_{\text{observado}}$ versus o N_{esperado} obtido no modelo calibrado em conjunto com o método EB na região MG e para a Amostra Padrão. Na análise gráfica é possível constatar o bom ajuste aos dados locais do modelo calibrado e refinado, com os pontos do gráfico distribuídos ao longo da linha diagonal (45°).

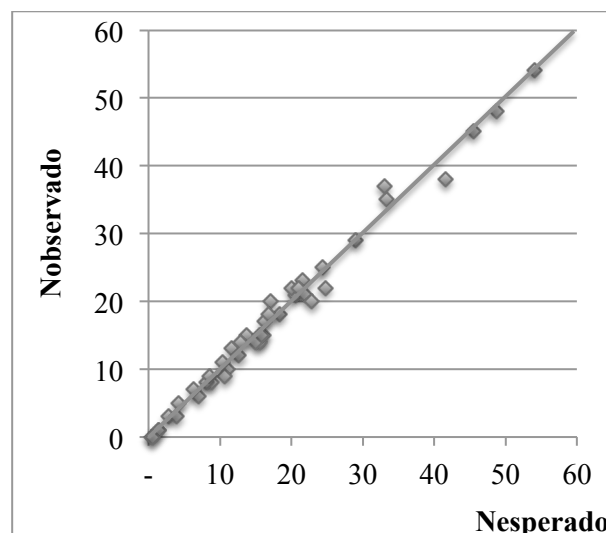


Figura 4.4 - N_{esperado} versus $N_{\text{observado}}$, região MG, Amostra Padrão

Para uma melhor visualização do ajuste dos modelos, foram representados em um gráfico de barras os resultados do modelo calibrado (N_{previsto} e N_{esperado}) e os acidentes observados ($N_{\text{observado}}$), em cada TH, considerando o modelo calibrado a partir da Amostra Padrão (Figuras 4.5 a 4.7).

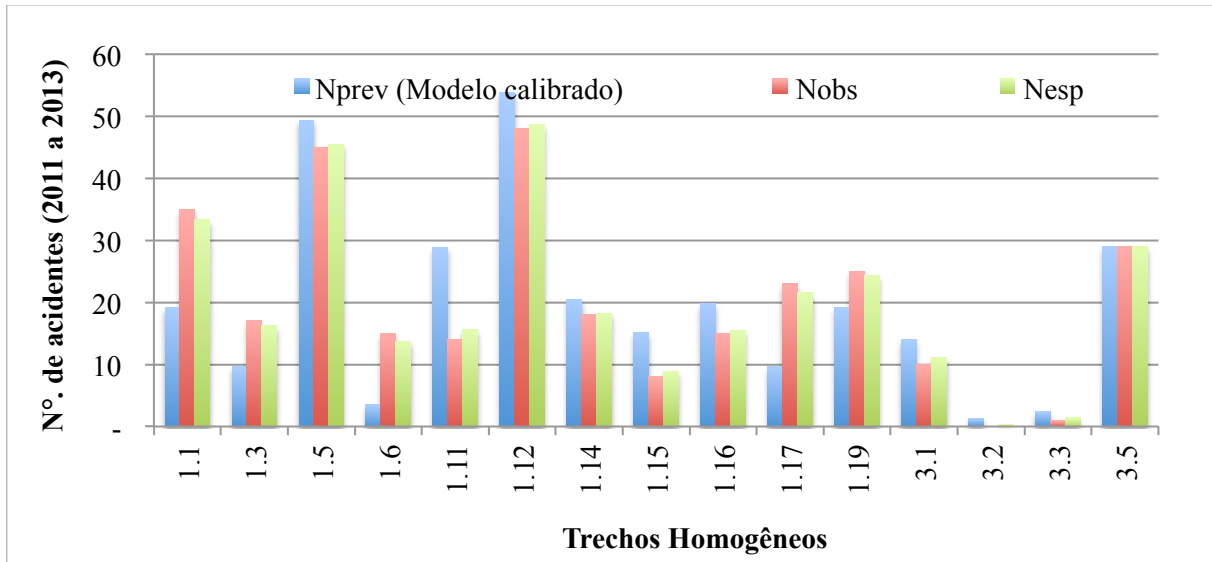


Figura 4.5 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Padrão (TH 1.1 ao TH 3.5)

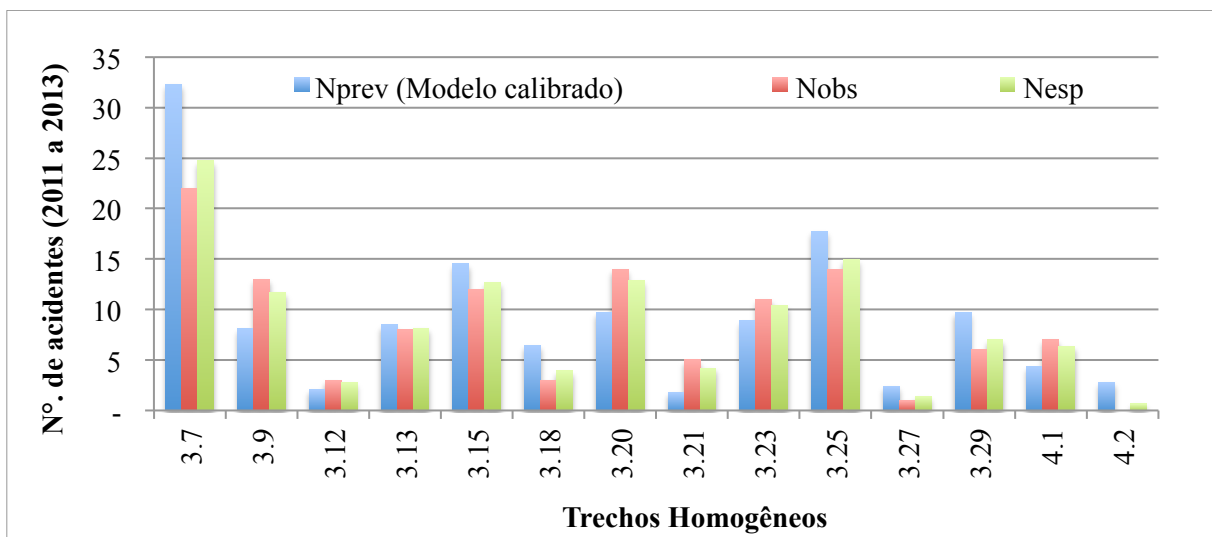


Figura 4.6 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Padrão (TH 3.7 ao TH 4.2)

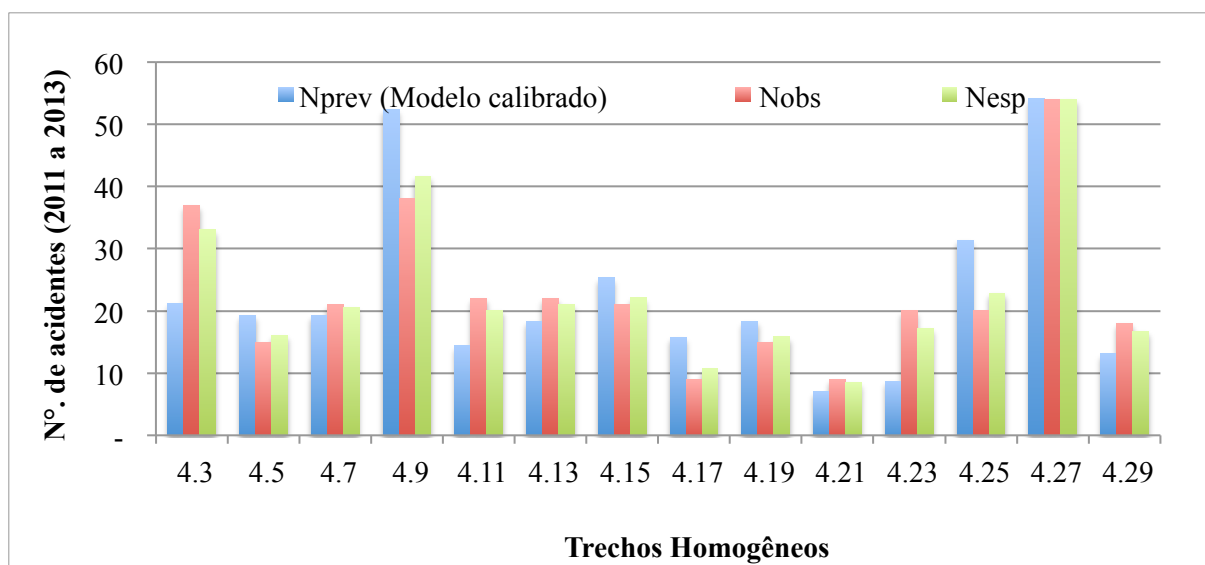


Figura 4.7 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Padrão (TH 4.3 ao TH 4.29)

Nesse recurso gráfico é possível confirmar o ajuste satisfatório do modelo calibrado aos dados locais (N_{obs}), em especial os valores esperados de acidentes pelo método EB.

b) Região GO/DF

A calibração do modelo preditivo do HSM na região GO/DF apresentou uma qualidade de ajuste inferior quando comparada aos resultados da região MG, com menor valor de R^2_{Efron} (0,53) e maior MAPE (66,31%) (Tabela 4.14). No modelo calibrado foi obtido um MAD de 7,81 acidentes/TH, havendo uma média de 17,89 acidentes/TH. Em uma análise dos valores de MAD por ano, foram obtidos os seguintes valores: Ano 2011, MAD igual a 2,99 acidentes/TH e média de acidentes observados igual a 6,25 acidentes/TH; Ano 2012, MAD igual a 3,33 acidentes/TH e média de acidentes observados igual a 5,47 acidentes/TH; Ano 2013, MAD igual a 2,46 acidentes/TH e média de acidentes observados igual a 6,17 acidentes/TH. Esses resultados indicam um ajuste precário (insatisfatório) da transferência do modelo em GO/DF a partir do banco de dados desta pesquisa e tendo por base outros estudos de transferência de modelos (D'Agostino, 2014, e Cunto *et al.*, 2015).

Assim como constatado na região MG e para a Amostra Padrão, as medidas de qualidade de ajuste do modelo calibrado em conjunto com o método EB indicam um excelente ajuste do modelo refinado ($R^2_{Efron} = 0,97$; MAD = 1,90 e MAPE = 15,67%).

Os Fatores de Calibração pontuais (F_p), obtidos em cada um dos trechos homogêneos na calibração da Amostra Padrão na região GO/DF, estão representados na Figura 4.8 e na Figura 4.9, assim como o Fator de Calibração (C_x) relacionado ao conjunto de THs da região. De maneira geral, os C_x são superiores a um, o que indica que o modelo original, sem calibração, tende a subestimar o número real de acidentes nos THs em estudo. Além disso, é possível constatar a grande variação dos Fatores de Calibração pontuais nos THs.

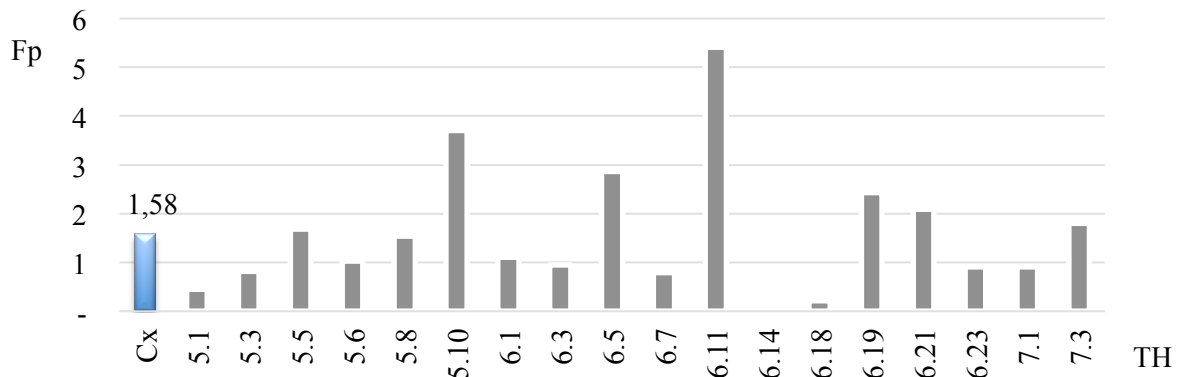


Figura 4.8 - Fator de Calibração pontual (F_p), por TH, na região GO/DF e para a Amostra Padrão (TH 5.1 ao TH 7.3)

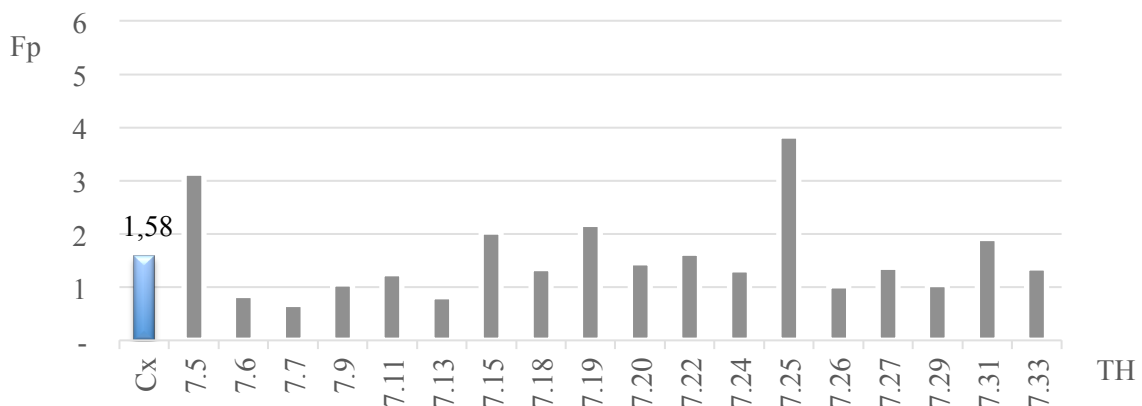


Figura 4.9 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região GO/DF e para a Amostra Padrão (TH 7.5 ao TH 7.33)

A Figura 4.10 representa graficamente a relação entre o $N_{\text{observado}}$ e o número de acidentes obtido no modelo calibrado, na região GO/DF e para a Amostra Padrão. Na análise gráfica não é possível identificar uma tendência de sub ou superestimação do número de acidentes pelo modelo calibrado na região GO/DF, uma vez que os pontos que representam a relação entre o N_{previsto} e o $N_{\text{observado}}$ estão posicionados de forma difusa com relação à linha diagonal que representa 45° .

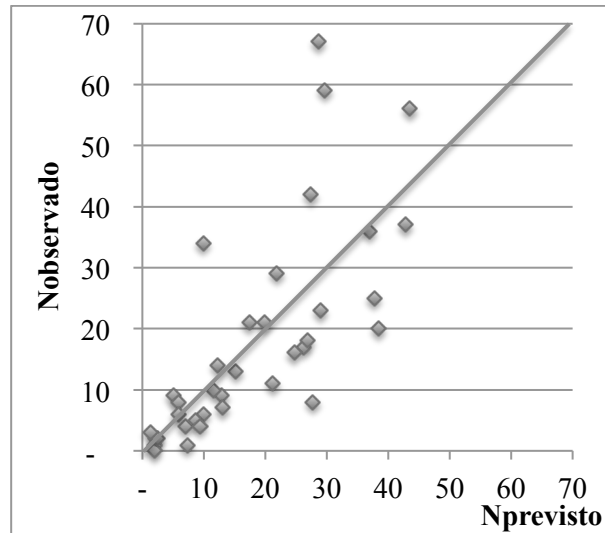


Figura 4.10 - N_{previsto} versus $N_{\text{observado}}$, região GO/DF, Amostra Padrão.

Na representação do número esperado de acidentes, com relação ao $N_{\text{observado}}$ (Figura 4.11), os pontos do gráfico se distribuem ao longo da linha diagonal (45°), indicando a aproximação entre os valores calculados e os valores reais de acidentes.

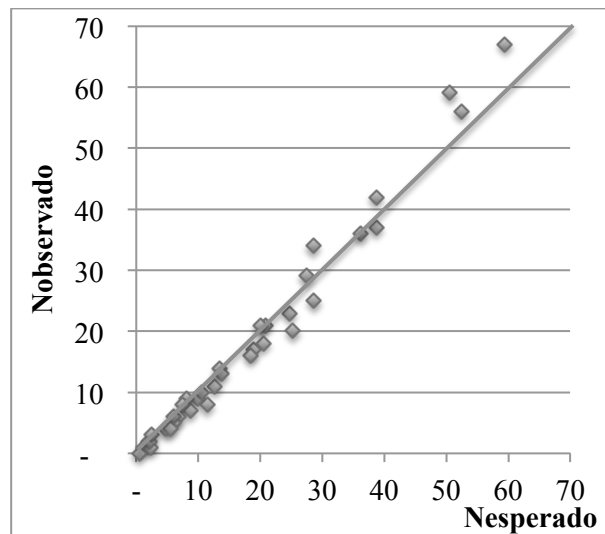


Figura 4.11 - N_{esperado} versus $N_{\text{observado}}$, região GO/DF, Amostra Padrão

Foram plotados em um mesmo gráfico os resultados do modelo calibrado (N_{previsto} e N_{esperado}) e os acidentes observados ($N_{\text{observado}}$), em cada TH, considerando o modelo calibrado a partir da Amostra Padrão na região GO/DF (Figura 4.12 e Figura 4.13).

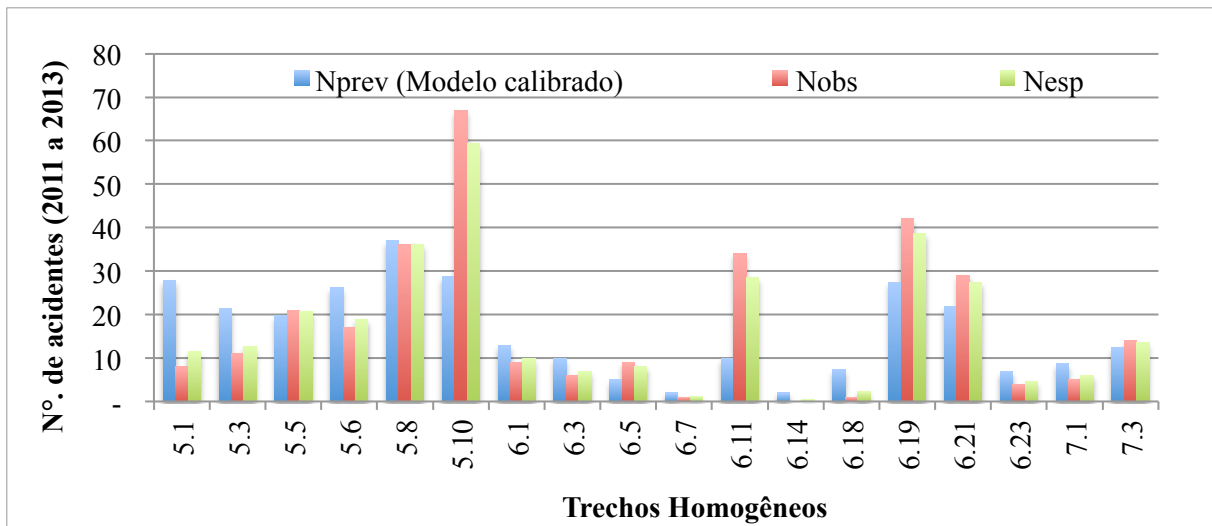


Figura 4.12 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região GO/DF, Amostra Padrão (TH 5.1 ao TH 7.3)

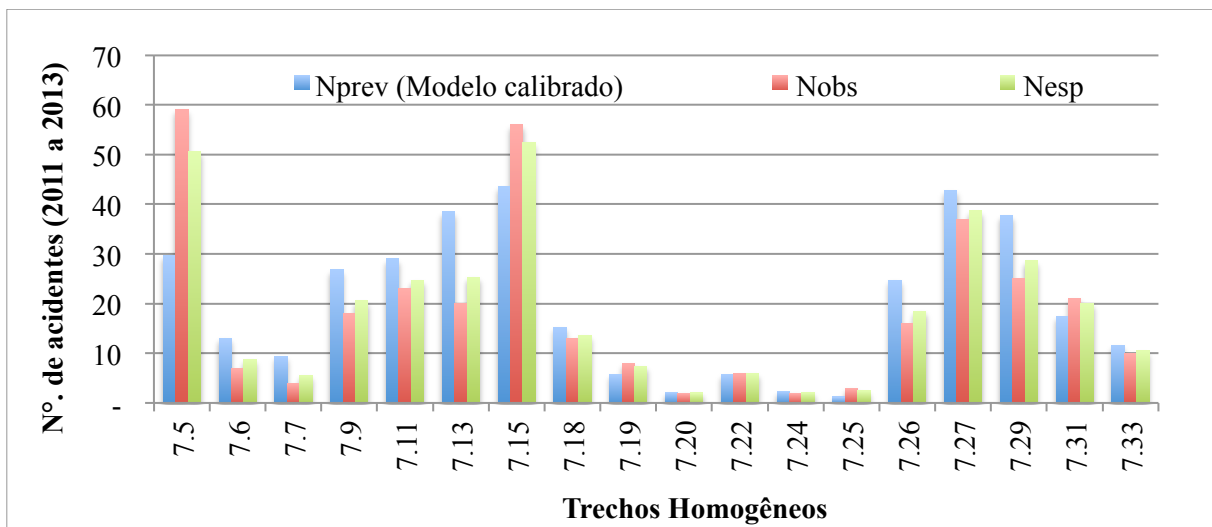


Figura 4.13 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região GO/DF, Amostra Padrão (TH 7.5 ao TH 7.33)

Na representação dos resultados do modelo preditivo calibrado é possível identificar, em diversos THs, um afastamento maior entre o N_{previsto} e o $N_{\text{observado}}$, em comparação com a região MG. Em um cenário geral dos gráficos, o N_{esperado} se aproxima bastante do $N_{\text{observado}}$.

4.3.2.4. CONCLUSÃO: TRANSFERÊNCIA DO MODELO A PARTIR DA AMOSTRA PADRÃO

Os resultados obtidos não confirmam o sucesso da transferibilidade do modelo preditivo do HSM para rodovias rurais de pista dupla no Brasil. O modelo calibrado a partir da Amostra

Padrão teve um desempenho satisfatório na representação da acidentalidade na região MG, mas um ajuste precário na região GO/DF.

Dessa forma, a partir dos resultados obtidos neste estudo, não foi possível confirmar de forma efetiva que o modelo preditivo do HSM calibrado permite prever o número de acidentes em rodovias rurais de pista dupla no Brasil, não sendo possível ratificar integralmente a hipótese inicial da pesquisa, embora tenham sido obtidos resultados satisfatórios em MG.

Os Fatores de Calibração pontuais (F_p), de maneira predominante, apresentaram valores inconstantes, com grande variação nos diferentes trechos homogêneos do estudo, em ambas regiões. Em um modelo calibrado bem ajustado aos dados reais, seria esperado valores mais constantes de F_p . Esta constatação reforça que o modelo preditivo não teve sucesso quando calibrado e aplicado às rodovias deste estudo, em especial na região GO/DF.

O resultado limitado da calibração do modelo preditivo na região de GO/DF pode estar relacionado à precisão dos dados, em especial o histórico de acidentes. As diferenças nos marcos quilométricos do SNV da BR 060/GO (segmento 6) e da BR 153/GO (segmento 7) ao longo dos anos analisados, conforme informado no item de Caracterização dos Trechos em Estudo (item 4.2), ainda que tenha se tentado corrigir esta diferença na consideração dos acidentes em cada ano, podem ter incorrido em uma maior imprecisão dos dados relacionados aos acidentes. Além disso, diferenças nos procedimentos de cadastro de dados de acidentes na Polícia Rodoviária Federal nas duas jurisdições podem ter afetado o resultado do procedimento de calibração nesta região que vincula os dois limites geográficos.

Para a região GO/DF é indicada uma ampliação do banco de dados, com a inclusão de um número maior de trechos homogêneos. Apesar de o número de trechos homogêneos incluído no estudo estar em acordo com as exigências do Manual HSM, um aumento da Amostra Padrão de calibração poderá fornecer resultados mais ajustados.

Nas duas regiões do estudo foram obtidos excelentes resultados na aplicação do modelo calibrado em conjunto com o método EB. O sucesso deste refinamento estatístico ocorre em decorrência da predominância do N_{obs} em relação ao N_{prev} , proporcionalmente, na formulação do método EB na amostra em estudo.

4.3.3. CENÁRIO 2: AMOSTRA PADRÃO *VERSUS* AMOSTRA TOTAL

Neste cenário, os procedimentos de calibração, aplicação do método EB e utilização do modelo calibrado foram refeitos para a Amostra Total, seguindo a mesma sequência apresentada na seção 4.3.2. A consideração da Amostra Total permite a avaliação de um cenário alternativo, em nível exploratório, com a intenção de visualizar o impacto geral de se ignorar as diferenças reais destes dispositivos (retornos e faixas adicionais), não contemplados no método do HSM.

4.3.3.1. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO

Foi realizado um novo procedimento de calibração considerando a Amostra Total. A Tabela 4.15 apresenta os valores obtidos na calibração da Amostra Total ($C_{x-T} = 2,63$ para MG e $C_{x-T} = 1,66$ para GO/DF) e, para uma melhor visualização do Cenário 2, reapresenta os valores da calibração da Amostra Padrão (C_x).

Tabela 4.15 - Fator de Calibração por rodovia e por região para o Cenário 2: Amostra Total e Amostra Padrão

	Amostra Total		Amostra Padrão			
	MG	GO/DF	MG	GO/DF		
n.º THs	76	64	43	36		
N _{obs} total (3 anos)	1222	906	743	644		
Extensão total (km)	99,20	99,40	68,63	75,05		
	C_{x-T}	2,63	1,66	C_x	2,37	1,58
	Fator de Calibração por rodovia		Fator de Calibração por rodovia			
1. BR 040 MG	C_{x-T1}	2,43	C_{x-1}	2,51		
3. BR 050 MG	C_{x-T3}	3,18	C_{x-3}	2,13		
4. BR 050 MG	C_{x-T4}	2,52	C_{x-4}	2,39		
5. BR 060 DF	C_{x-T5}		C_{x-5}	1,47	1,58	
6. 060 GO	C_{x-T6}		C_{x-6}	1,98	2,03	
7. 153 GO	C_{x-T7}		C_{x-7}	1,59	1,46	

4.3.3.2. APLICAÇÃO DO MODELO PREDITIVO CALIBRADO E DO MÉTODO EB

A Tabela 4.16 apresenta um resumo, em cada uma das Amostras e para cada região, dos valores obtidos na aplicação do modelo preditivo do HSM nas diferentes condições: modelo original sem calibrar, modelo calibrado e modelo calibrado em conjunto com o método EB. Nesta tabela são também reapresentados os valores relacionados à calibração da Amostra Padrão.

Tabela 4.16 - Resultado da aplicação do modelo preditivo por região para o Cenário 2: Amostra Total e Amostra Padrão

Cenário 2	Amostra Total		Amostra Padrão	
	MG	GO/DF	MG	GO/DF
N_{obs}	1.222,00	906,00	743,00	644,00
N_{prev} (Modelo sem calibrar)	464,04	546,65	313,52	406,90
N_{prev} (Modelo calibrado)	1.222,00	906,00	743,00	644,00
N_{esp} (Método EB)	1.216,05	905,31	745,32	644,89

No Apêndice A estão representadas a Tabela A.17 e a Tabela A.18 com os resultados da aplicação do método EB, indicando o fator de ponderação (w) e o parâmetro de superdispersão (k) em cada TH, para cada região e considerando a Amostra Total.

4.3.3.3. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE AJUSTE DOS MODELOS CALIBRADOS

Nesta análise exploratória foram aplicadas as medidas de qualidade de ajuste à Amostra Total para permitir uma comparação entre as duas Amostras. A Tabela 4.17 apresenta as medidas de qualidade de ajuste obtidas nas amostras Total e Padrão.

Tabela 4.17 - Medidas de qualidade de ajuste no Cenário 2 (Amostra Total e Amostra Padrão), regiões MG e GO/DF

	Amostra Total		Amostra Padrão		
	MG	GO/DF	MG	GO/DF	
C_{x-T}	2,63	1,66	C_x	2,37	1,58
	Modelo calibrado		Modelo calibrado		
R^2_{Efron}	0,46	0,53	R^2_{Efron}	0,69	0,53
MAD	6,45	6,08	MAD	5,54	7,81
MAPE	49,78%	68,31%	MAPE	41,43%	66,31%
	Modelo calibrado + Método EB		Modelo calibrado + Método EB		
R^2_{Efron}	0,98	0,97	R^2_{Efron}	0,99	0,97
MAD	1,26	1,43	MAD	1,10	1,90
MAPE	10,47%	15,21%	MAPE	8,96%	15,67%

a) Região MG

Na comparação entre as Amostras Padrão e Total, na região MG, foram obtidos melhores resultados na Amostra Padrão, com um maior valor de R^2_{Efron} e menor valor de MAPE (Tabela 4.17). Este resultado é coerente, uma vez que na Amostra Padrão são considerados

apenas os THs que atendem inteiramente as especificações do Manual HSM. Na Amostra Total, o MAD tem valor de 6,45, relacionado à uma média de 16,08 acidentes por TH.

Considerando a análise exposta no Cenário 1, com a consulta de outros estudos relacionados (D'Agostino, 2014 e Cunto *et al.*, 2015), neste Cenário 2 em MG a Amostra Total apresenta valores das medidas de qualidade de ajuste insatisfatórios.

Esta constatação sugere que o modelo preditivo do HSM para RPDs não tem sucesso quando aplicado em THs que incluam retornos e faixas adicionais e indica a importância de serem desenvolvidos CMFs específicos para estas configurações viárias para que o método possa ser aplicado em locais onde esses dispositivos são frequentes.

As Figuras 4.14 a 4.16 representam os Fatores de Calibração pontuais (F_p), obtidos em cada um dos trechos homogêneos na Amostra Total. Nas representações gráficas estão indicados os trechos que constituem retornos (R) e faixas adicionais (FA).

Os Fatores de Calibração pontuais na Amostra Total não têm um comportamento constante nos diferentes THs, havendo uma grande variação em seus valores. Inclusive, em diversos THs o F_p tem valor excessivo, com Fator de Calibração pontual superior a 5.

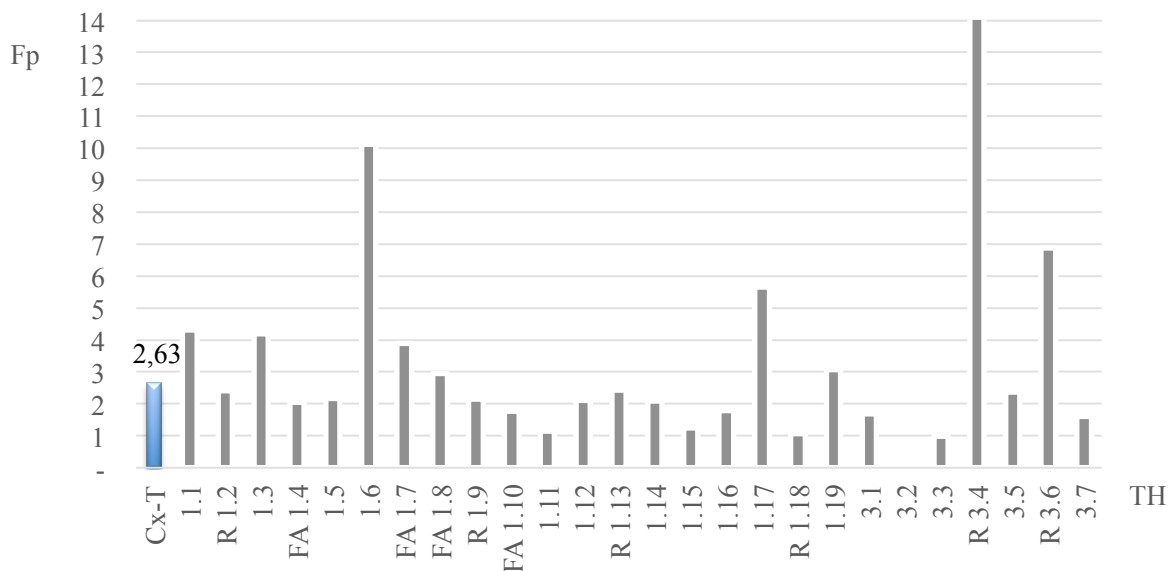


Figura 4.14 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região MG na Amostra Total (TH 1.1 ao TH 3.7)

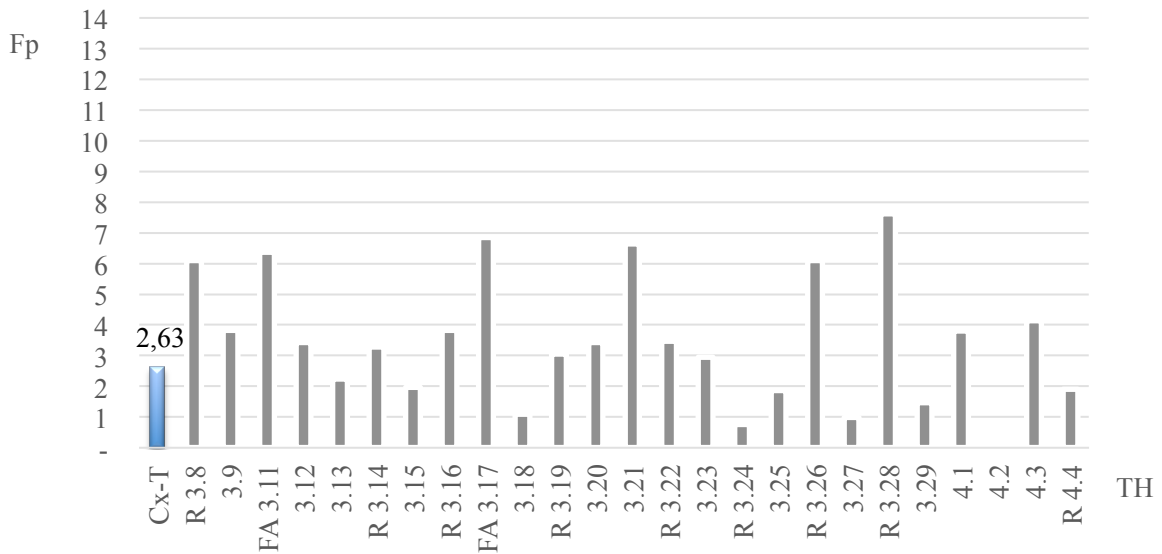


Figura 4.15 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região MG na Amostra Total (TH 3.8 ao TH 4.4)

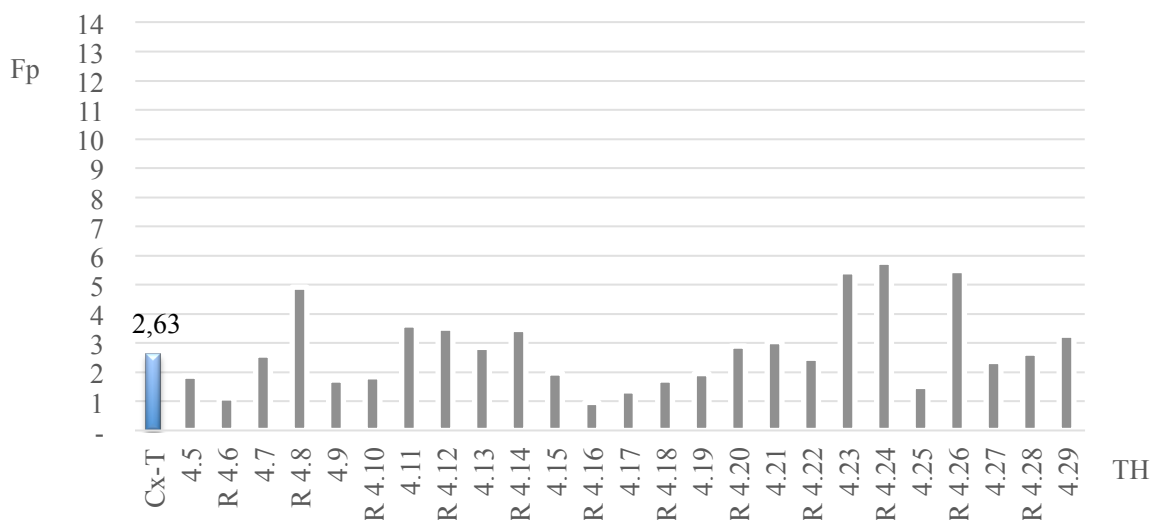


Figura 4.16 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região MG na Amostra Total (TH 4.5 ao TH 4.29)

Neste gráfico de barras é possível identificar uma maior variação dos Fatores de Calibração pontuais quando comparados aos obtidos na Amostra Padrão. E, da mesma forma encontrada na Amostra Padrão, os Fatores de Calibração pontuais em geral são superiores a unidade, indicando uma tendência de o modelo original do HSM, sem calibração, subestimar o número de acidentes nos trechos homogêneos incluídos no estudo.

A Figura 4.17 e a Figura 4.18 representam a plotagem do $N_{\text{observado}}$ *versus* o N_{previsto} e o N_{esperado} , respectivamente, na região MG e para a Amostra Total.

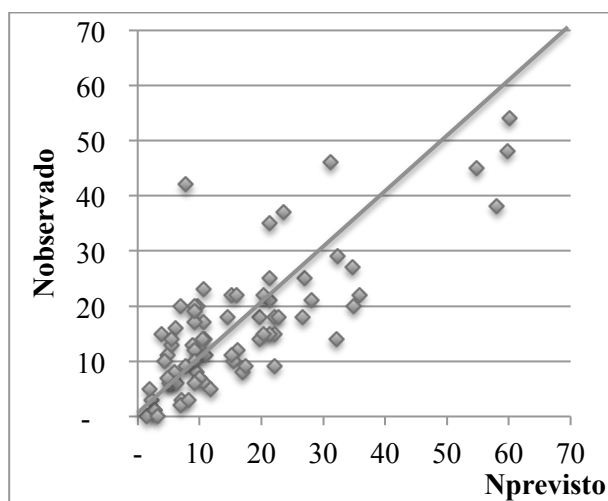


Figura 4.17- N_{previsto} *versus* $N_{\text{observado}}$, região MG, Amostra Total.

Na Amostra Total e na região MG, os pontos no gráfico que representam o N_{previsto} e o $N_{\text{observado}}$ são dispostos de forma difusa com relação à linha diagonal (45°), não havendo uma tendência de sub ou superestimação do número de acidentes no modelo calibrado.

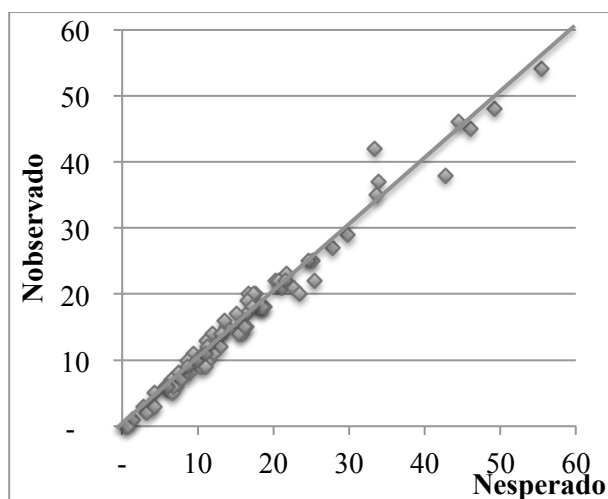


Figura 4.18 - N_{esperado} *versus* $N_{\text{observado}}$, região MG, Amostra Total.

A partir dos resultados da aplicação do método EB, os pontos no gráfico que representam a relação entre o número esperado de acidentes e o número observado estão dispostos ao longo da linha diagonal (45°), indicando que o modelo calibrado refinado apresenta números esperados de acidentes bastante próximos dos números reais.

As Figuras 4.19 a 4.21 representam, em um gráfico de barras, os resultados do modelo calibrado (N_{previsto} e N_{esperado}) e os acidentes observados ($N_{\text{observado}}$), em cada TH, considerando o modelo calibrado a partir da Amostra Total.

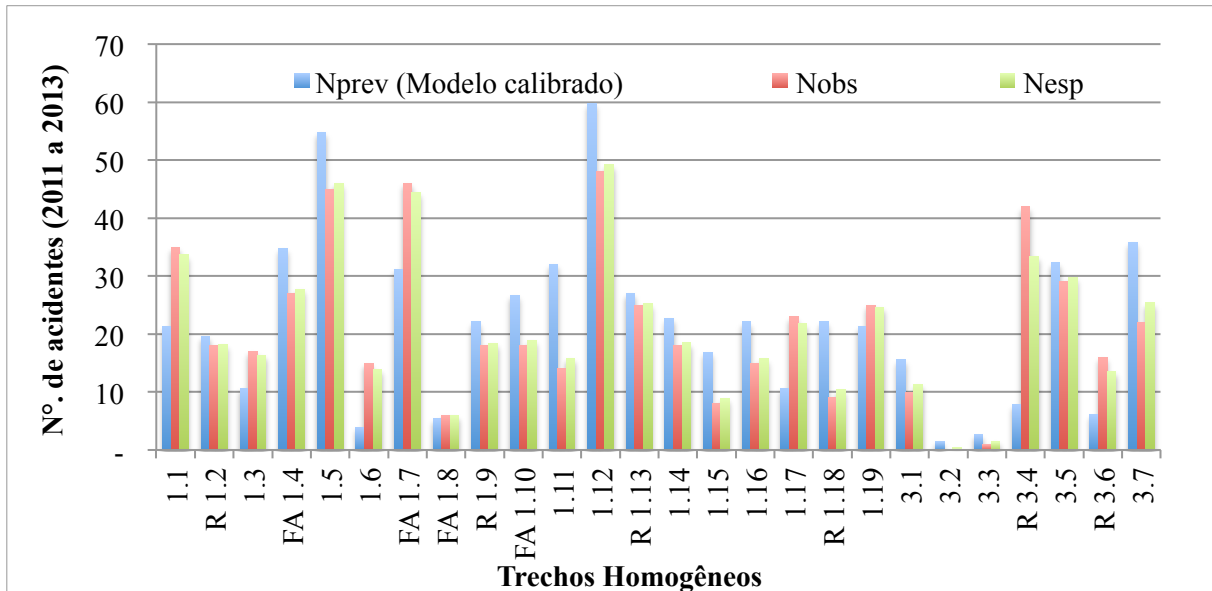


Figura 4.19 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Total (TH 1.1 ao TH 3.7)

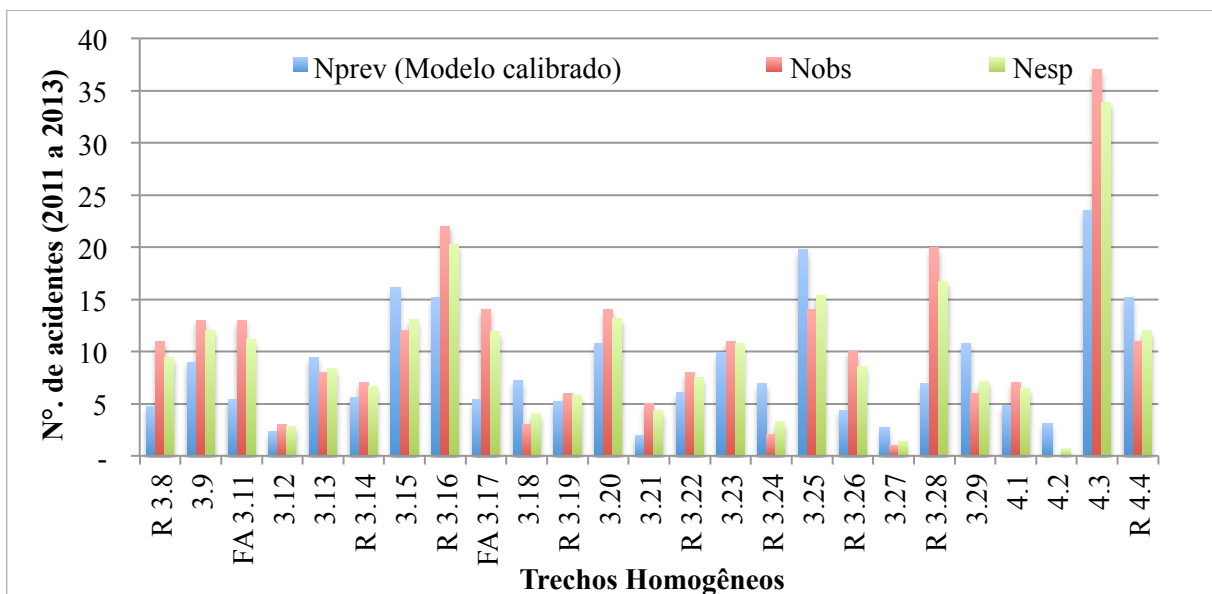


Figura 4.20 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Total (TH 3.8 ao TH 4.4)

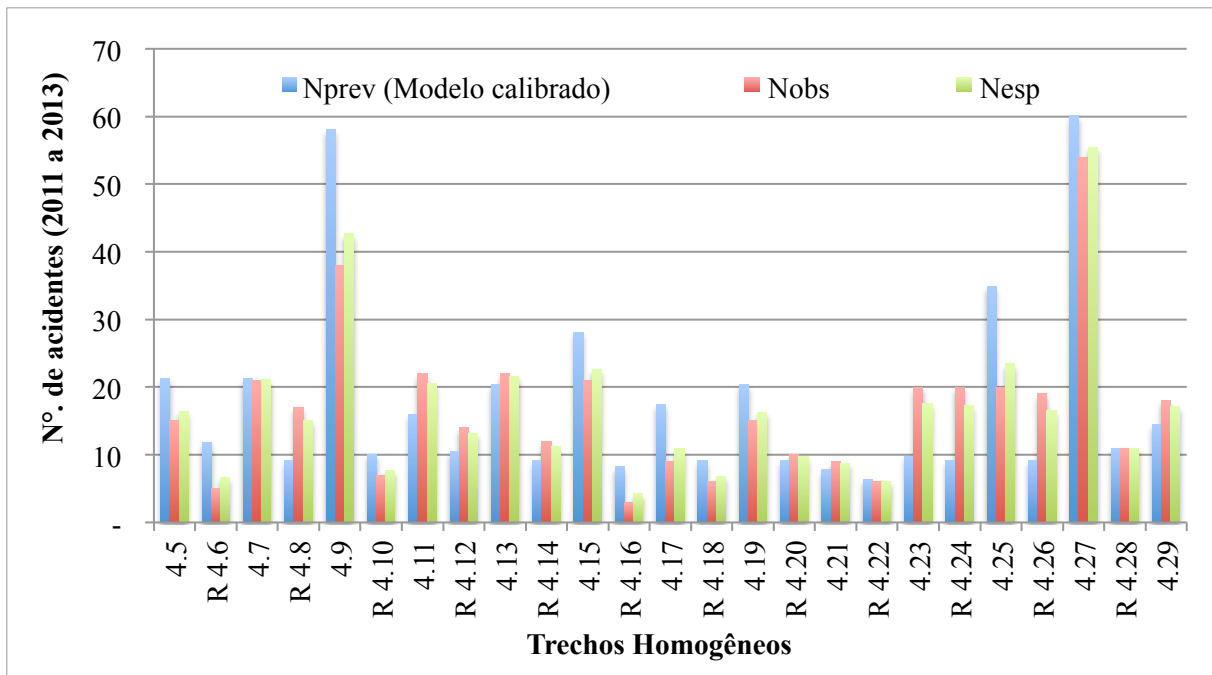


Figura 4.21 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Total (TH 4.5 ao TH 4.29)

Neste Cenário 2, em uma comparação dos gráficos de barras dos números de acidentes obtidos nas Amostras Padrão e Total, é possível constatar uma maior disparidade entre o N_{previsto} e o $N_{\text{observado}}$ na Amostra Total, confirmando o melhor ajuste da Amostra Padrão na região MG.

b) Região GO/DF

No Cenário 2 e na região GO/DF, as medidas de qualidade de ajuste (Tabela 4.17) apresentaram valores bastante similares na comparação entre a Amostra Padrão ($R^2_{\text{Efron}} = 0,53$; $\text{MAD} = 5,54$ e média $17,28$; $\text{MAPE} = 66,31\%$) e a Amostra Total ($R^2_{\text{Efron}} = 0,53$; $\text{MAD} = 6,45$ e média $16,08$; $\text{MAPE} = 68,31\%$), não havendo uma amostra em que se constate um ajuste superior aos dados reais.

Considerando a análise das medidas de qualidade de ajuste exposta no Cenário 1, neste Cenário 2, a Amostra Total, assim como a Amostra Padrão, apresenta valores das medidas de qualidade de ajuste insatisfatórios.

A Figura 4.22 e a Figura 4.23 representam os Fatores de Calibração pontuais (F_p), obtidos em cada um dos trechos homogêneos na Amostra Total e na região GO/DF. O C_{x-T} indicado é o Fator de Calibração do conjunto de THs da Amostra.

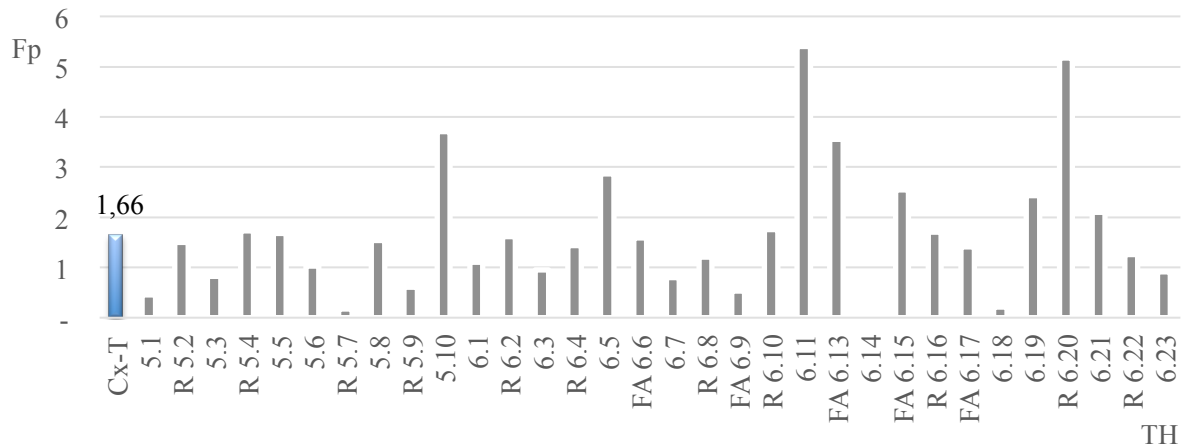


Figura 4.22 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região GO/DF e para a Amostra Total (TH 5.1 ao TH 6.23)

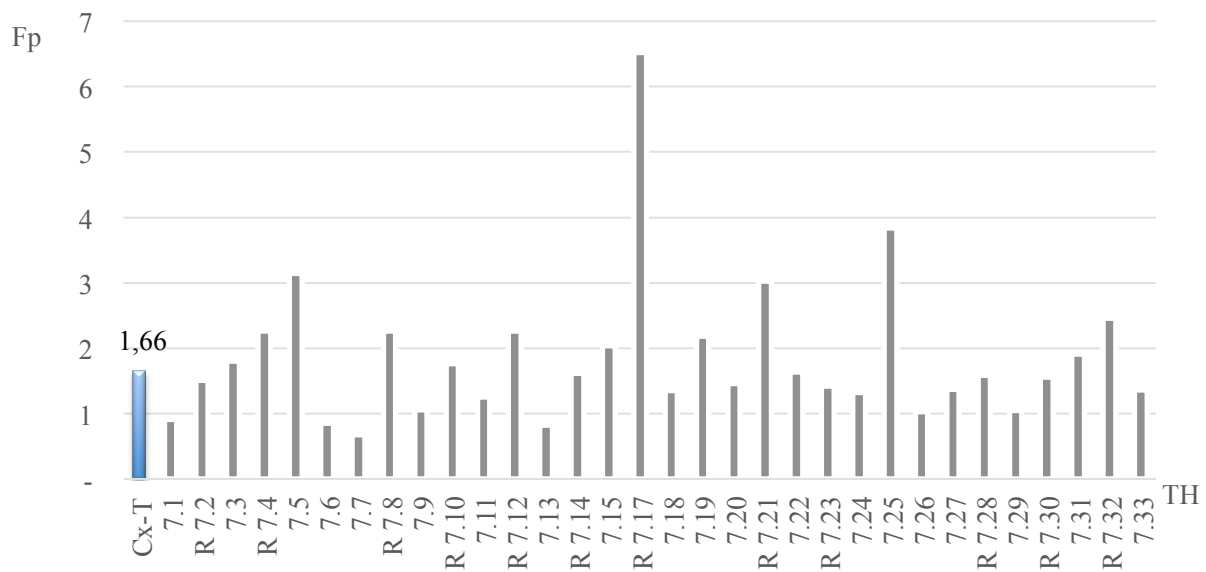


Figura 4.23 - Fator de Calibração pontual, por TH, na região GO/DF e para a Amostra Total (TH 7.1 ao TH 7.33)

Nesta representação gráfica fica evidente uma maior variação dos Fatores de Calibração pontuais, com valores mais destoantes em alguns THs, quando comparados aos resultados da Amostra Padrão nesta região (Figura 4.8 e Figura 4.9).

Na Figura 4.24 e na Figura 4.25 estão representados os valores de N_{previsto} e N_{esperado} , respectivamente, relacionados ao $N_{\text{observado}}$.

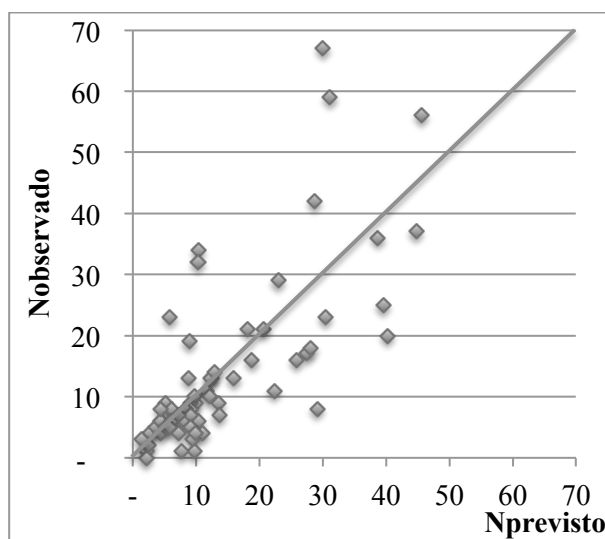


Figura 4.24 – N_{previsto} versus $N_{\text{observado}}$, região GO/DF, Amostra Total.

No gráfico do número previsto de acidentes versus o número observado, os pontos no gráfico são bastante difusos, havendo THs onde o modelo calibrado superestima o número de acidentes e outros THs onde o modelo faz uma subestimativa.

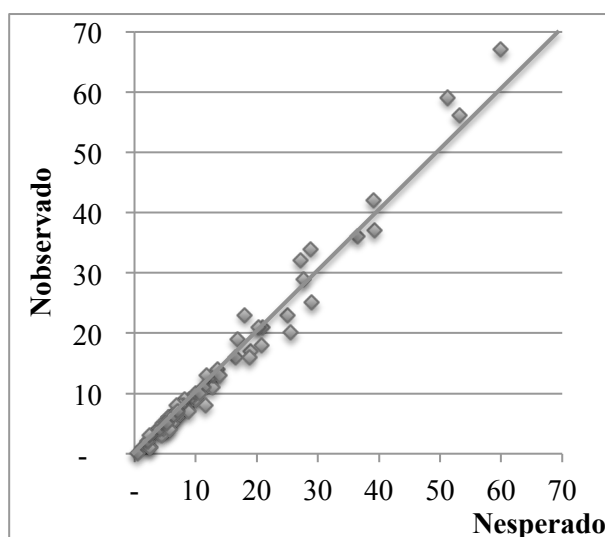


Figura 4.25 - N_{esperado} versus $N_{\text{observado}}$, região GO/DF, Amostra Total.

Na relação entre o N_{esperado} e o $N_{\text{observado}}$, os pontos do gráfico estão dispostos próximos à linha diagonal, indicando uma excelente relação entre os valores avaliados.

Para possibilitar uma melhor visualização do ajuste do modelo nas diferentes condições, foram representados em um mesmo gráfico os valores de N_{prev} , N_{obs} e N_{esp} para o período do estudo (Figuras 4.26 a 4.28).

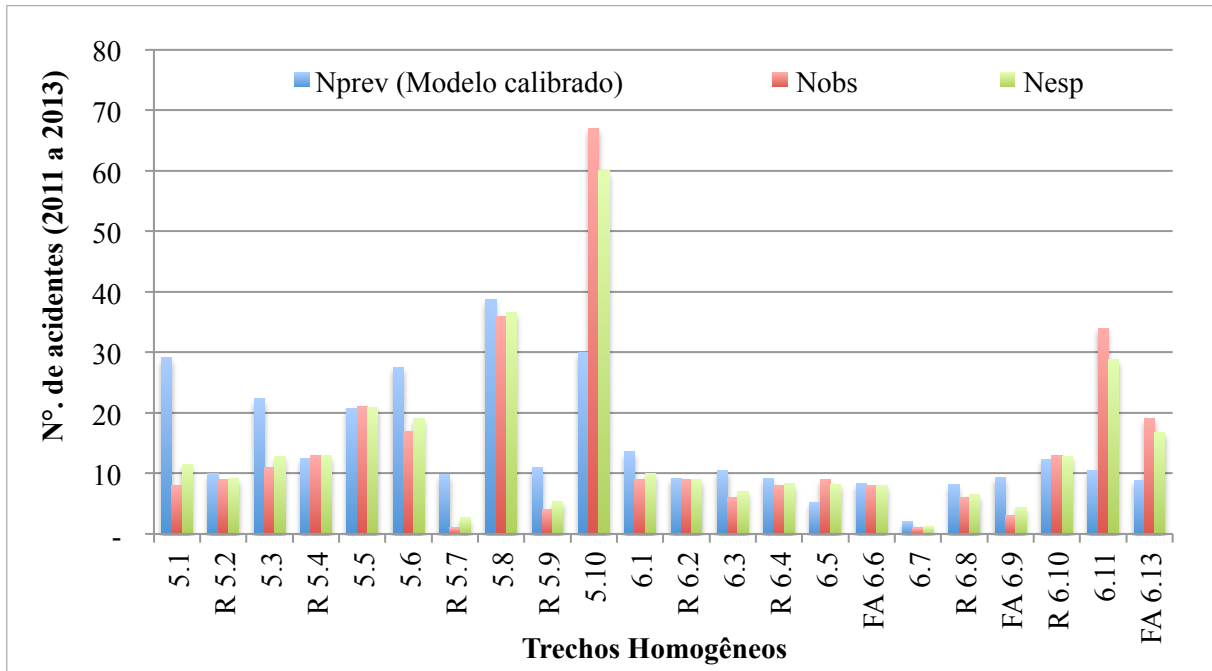


Figura 4.26 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região GO/DF, Amostra Total (TH 5.1 ao TH 6.13)

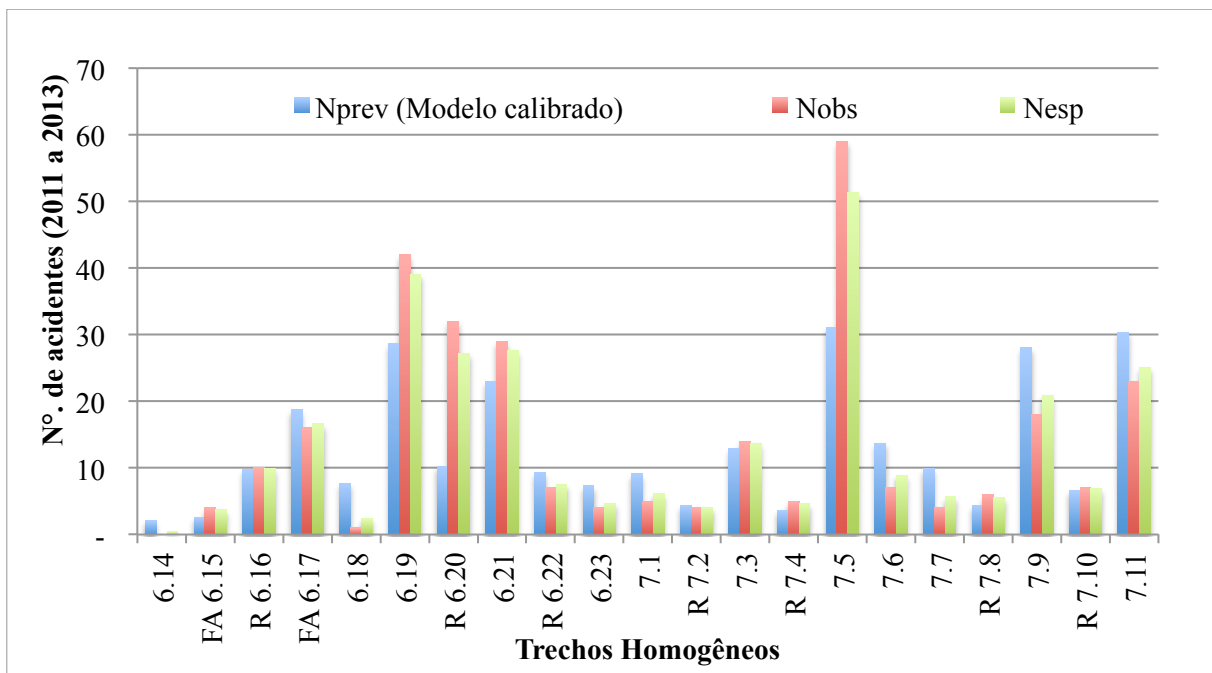


Figura 4.27 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região GO/DF, Amostra Total (TH 6.14 ao TH 7.11)

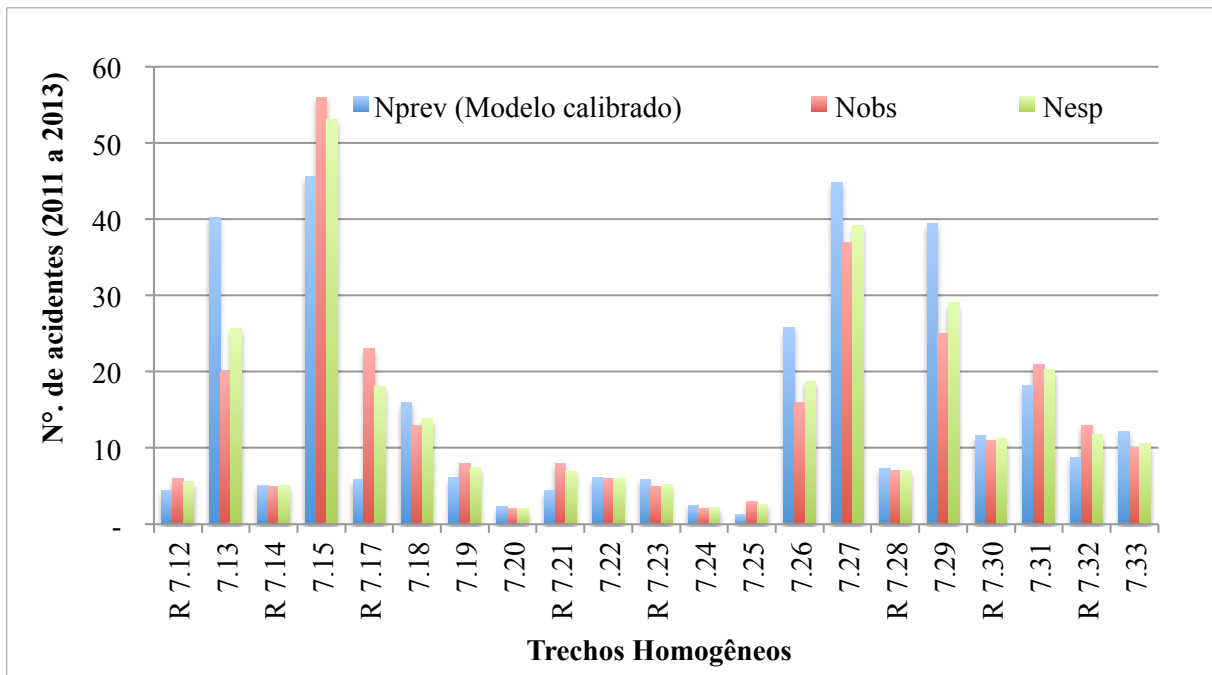


Figura 4.28 - Números de acidentes de 2011 a 2013, região GO/DF, Amostra Total (TH 7.12 ao TH 7.33)

4.3.3.4. CONCLUSÃO: COMPARATIVO DA TRANSFERÊNCIA DOS MODELOS (AMOSTRA TOTAL E AMOSTRA PADRÃO)

Na região MG a Amostra Padrão apresentou os melhores resultados quando comparados à Amostra Total, com maior valor R^2_{Efron} e menores valores de MAD e MAPE. Em contrapartida, na região GO/DF os resultados de ajuste nas duas Amostras foram bastante similares.

O resultado a partir da região MG sugere que os retornos e faixas adicionais têm um efeito na aplicação do modelo HSM que deve ser considerado. Em uma situação em que estas diferenças foram ignoradas, representada neste estudo pela Amostra Total, a calibração forneceu resultados menos ajustados. Já na região GO/DF não houve uma diferença determinante nos resultados de ajuste das amostras Padrão e Total, o que indica que naquele conjunto de dados os dispositivos de faixas adicionais e retornos não geraram efeitos reais na aplicação do modelo do HSM.

Neste Cenário 2, a Amostra Total nas regiões MG e GO/DF apresentam valores das medidas de qualidade de ajuste insatisfatórios, conforme referências consultadas (D'Agostino, 2014, e Cunto *et al.*, 2015).

Vale ressaltar que esta análise é apenas exploratória, que a partir do seu resultado indica a necessidade de estudos adicionais com um maior número de trechos com retornos e faixas adicionais, para se avaliar o impacto destes dispositivos no modelo preditivo do HSM.

4.3.4. CENÁRIO 3: AMOSTRAS RETORNOS E FAIXAS ADICIONAIS

Na segunda análise exploratória proposta, no Cenário 3, foram estudadas duas amostras alternativas: Amostra Retornos, restrita aos THs com retornos, e a Amostra Faixas Adicionais, incluindo apenas os THs caracterizados pela presença de faixas adicionais. Este terceiro cenário não tem por objetivo comparar os resultados das duas amostras alternativas, a finalidade é apenas explorar como o modelo do HSM se comporta quando aplicado aos dispositivos de Retornos e Faixas Adicionais.

4.3.4.1. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO

Na Tabela 4.18 são apresentados os resultados da calibração da Amostra Retornos (C_{x-R}) e da Amostra Faixas Adicionais (C_{x-FA}).

Tabela 4.18 - Fator de Calibração obtido por rodovia e por região para o Cenário 3: Amostra Retornos e Amostra Faixas Adicionais

	Amostra Retorno		Amostra Faixa Adicional	
	MG	GO/DF	MG	GO/DF
n.º THs	27	23	6	5
N _{obs} total (3 anos)	355	212	124	50
Extensão total (km)	25,67	19,75	4,90	4,60
	C_{x-R}	3,25	1,91	C_{x-FA}
		3,00		1,73
	Fator de Calibração por rodovia		Fator de Calibração por rodovia	
1. BR 040 MG	C_{x-R1}	2,03	C_{x-FA1}	2,61
3. BR 050 MG	C_{x-R3}	5,51	C_{x-FA3}	3,39
4. BR 050 MG	C_{x-R4}	2,91	C_{x-FA4}	-
5. BR 060 DF	C_{x-R5}	1,04	C_{x-FA5}	-
6. 060 GO	C_{x-R6}	2,06	C_{x-FA6}	1,73
7. 153 GO	C_{x-R7}	2,29	C_{x-FA7}	-

4.3.4.2. APLICAÇÃO DO MODELO PREDITIVO CALIBRADO E DO MÉTODO EB

A aplicação do modelo calibrado no conjunto de dados da respectiva amostra forneceu os resultados apresentados na Tabela 4.19.

Tabela 4.19 – Resultado da aplicação do modelo preditivo por região para o Cenário 3: Amostra Retornos e Amostra Faixas Adicionais

Cenário 3	Amostra Retornos		Amostra Faixa Adicional	
	MG	GO/DF	MG	GO/DF
N_{obs}	355,00	212,00	124,00	50,00
N_{prev} (Modelo sem calibrar)	109,21	110,81	41,31	28,93
N_{prev} (Modelo calibrado)	355,00	212,00	124,00	50,00
N_{esp} (Método EB)	349,50	210,35	121,99	50,00

A Tabela A.19 e a Tabela A.20, no Apêndice A, fornecem os resultados da aplicação do método EB, com a indicação do fator de ponderação (w) e do parâmetro de superdispersão (k) em cada TH, para cada região e considerando a Amostra Retornos. A Tabela A.21 e a Tabela A.22 apresentam os resultados para a Amostra Faixas Adicionais.

4.3.4.3. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE AJUSTE DOS MODELOS CALIBRADOS

As mesmas medidas de qualidade de ajuste aplicadas às amostras Padrão e Total foram aplicadas às amostras Retornos e Faixas Adicionais, a fim de fornecer elementos de avaliação do modelo preditivo do HSM quando aplicado diretamente aos dispositivos alternativos (retornos e faixas adicionais) (Tabela 4.20).

Tabela 4.20 - Resultado da aplicação do modelo preditivo por região para o Cenário 3: Amostra Retornos e Amostra Faixas Adicionais

	Amostra Retorno		Amostra Faixa Adicional	
	MG	GO/DF	MG	GO/DF
C_x	3,25	1,91	C_x	3,00
	Modelo calibrado		Modelo calibrado	
R^2_{Efron}	-0,26	0,05	R^2_{Efron}	0,47
MAD	6,67	3,90	MAD	8,39
MAPE	67,56%	79,69%	MAPE	41,55%
	Modelo calibrado + Método EB		Modelo calibrado + Método EB	
R^2_{Efron}	0,95	0,96	R^2_{Efron}	0,99
MAD	1,21	0,83	MAD	1,07
MAPE	12,72%	15,10%	MAPE	6,10%

A calibração das amostras alternativas tem caráter apenas exploratório, uma vez que os dispositivos de retornos e faixas adicionais não são contemplados no modelo original do HSM e devido ao tamanho das amostras ser inferior ao especificado no Manual.

A avaliação da qualidade de ajuste forneceu resultados precários, demonstrando um ajuste insatisfatório do modelo calibrado quando aplicado diretamente em dispositivos de retornos e faixas adicionais. A aplicação do método EB confirma a força preditiva deste procedimento estatístico, mesmo em uma situação em que o modelo calibrado é falho.

a) Amostra Retornos

No modelo calibrado para a Amostra Retornos na região MG foi obtido um MAD de 6,67 acidentes/TH, havendo uma média de 13,15 acidentes/TH, e um MAPE igual a 67,56%. Na região GO/DF o MAD é de 3,90 acidentes/TH, havendo uma média de 9,22 acidentes/TH, e um MAPE igual a 79,69%. Os valores obtidos para o R^2_{Efron} (-0,26 em MG e 0,05 em GO/DF) indicam que não há relação entre o número previsto de acidentes e o número observado, em uma análise por TH, indicando que não há um ajuste aos dados reais.

Conforme destacado por Kvalseth (1985), o pseudo- R^2 determinado pela Equação 3.11 quando aplicado para modelos não lineares pode ser conceitualmente negativo. Entretanto, em geral, do mesmo modo que no caso linear, seu valor varia entre 0 (zero) e 1 (um). Ainda segundo o mesmo autor, esse valor pode ser negativo em situações de uso de modelo claramente inadequado ou, em função do método de ajuste utilizado, quando a base de dados considerada na calibração do modelo contém valores extremos (*outliers*).

Os valores obtidos nas medidas de qualidade de ajuste, em especial o R^2_{Efron} , reforçam a constatação do Cenário 2 que indica que o modelo preditivo do HSM para RPDs não tem sucesso quando aplicado em THs que incluam dispositivos que não integram o modelo (retornos e faixas adicionais).

A Figura 4.29 e a Figura 4.30 representam os Fatores de Calibração pontuais obtidos na Amostra Retornos, nas regiões de MG e GO/DF, respectivamente. A análise gráfica permite a visualização da variação do F_p em cada TH.

Os Fatores de Calibração pontuais obtidos na Amostra Retornos apresentam uma maior irregularidade dos valores por TH, o que sugere um pior ajuste do modelo calibrado para esta Amostra. De forma predominante, o modelo original aplicado aos retornos subestima o número de acidentes nos THs estudados ($F_p > 1$). Os Fatores de Calibração por rodovia (C_{X-R1} a C_{X-R7}), apresentados na Tabela 4.18, indicam uma irregularidade na calibração nas diferentes regiões, com uma grande variação entre os fatores C_{X-R} por rodovia. Estas constatações sugerem que o modelo original do HSM não tem sucesso quando transferido para THs com dispositivos de retornos.

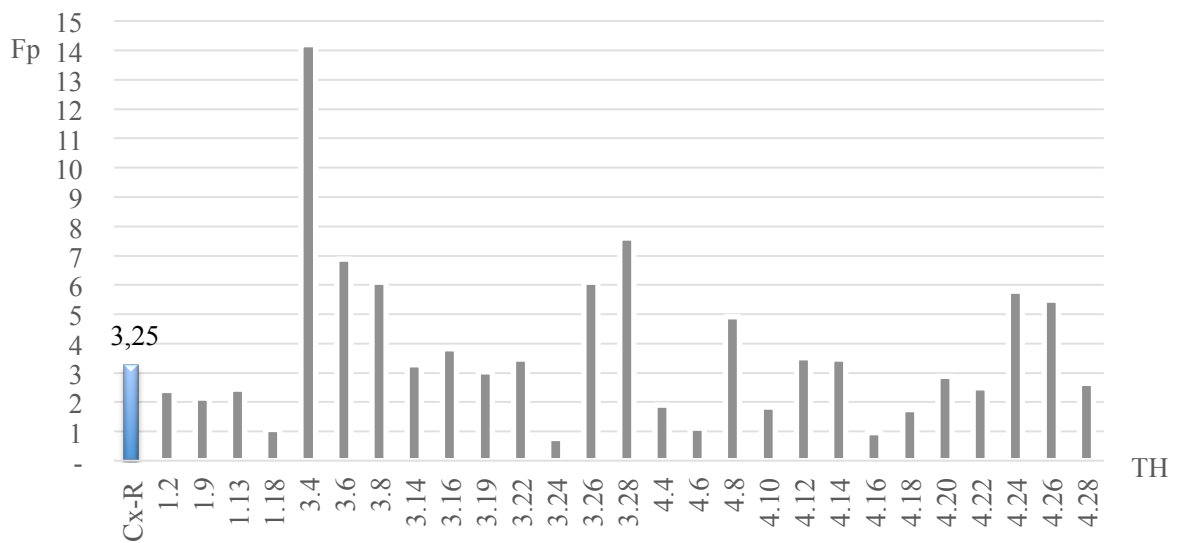


Figura 4.29 – Fator de Calibração pontual, por TH, na região MG e para a Amostra Retornos

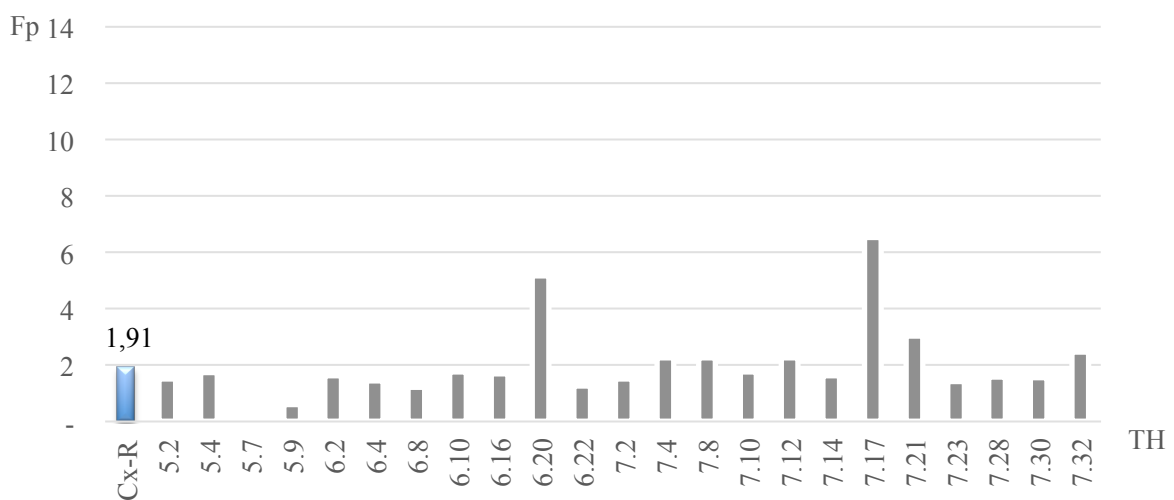


Figura 4.30 – Fator de Calibração pontual, por TH, na região GO/DF e para a Amostra Retornos

Na representação do N_{previsto} versus o $N_{\text{observado}}$, obtidos em MG (Figura 4.31) e em GO/DF (Figura 4.32), na Amostra Retornos, os pontos no gráfico estão dispersos e afastados da diagonal (45°).

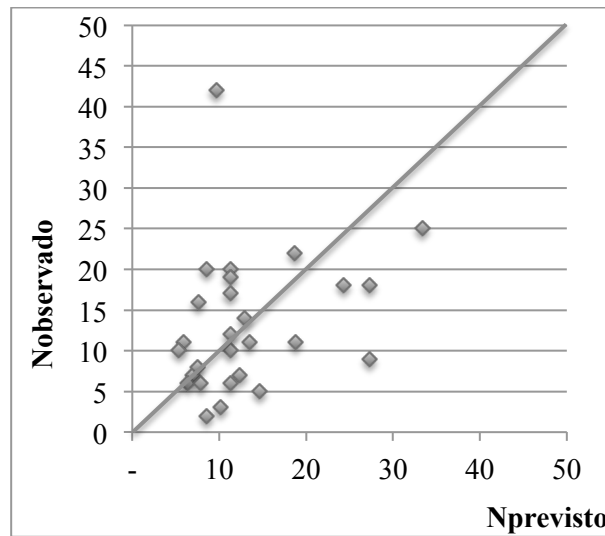


Figura 4.31 – N_{previsto} versus $N_{\text{observado}}$, região MG, Amostra Retornos.

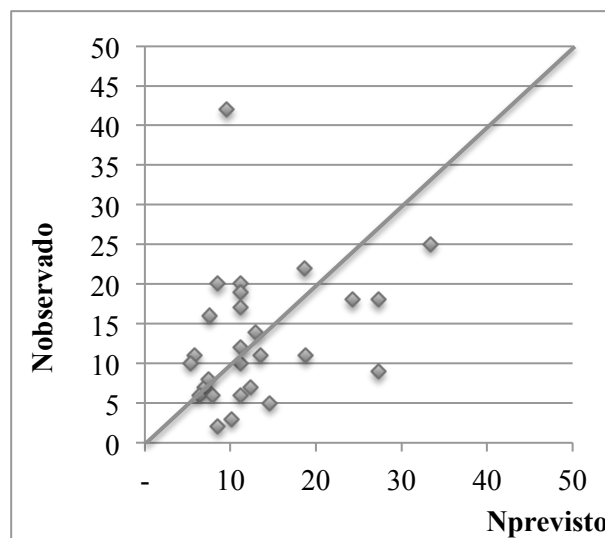


Figura 4.32 – N_{previsto} versus $N_{\text{observado}}$, região GO/DF, Amostra Retornos.

A fim de fornecer uma melhor visualização dos resultados da calibração do modelo, foram plotados em um gráfico de barras os valores obtidos nas diferentes condições: modelo calibrado (N_{previsto}) e modelo calibrado e refinado com o método EB (N_{esperado}), assim como o número observado de acidentes ($N_{\text{observado}}$), em cada TH e nas diferentes regiões (Figura 4.33 e Figura 4.34, em MG e em GO/DF, respectivamente).

A visualização gráfica dos acidentes previstos e esperados, relacionados ao número real de acidentes, evidenciam um ajuste insatisfatório do modelo quando aplicado aos dispositivos de retornos.

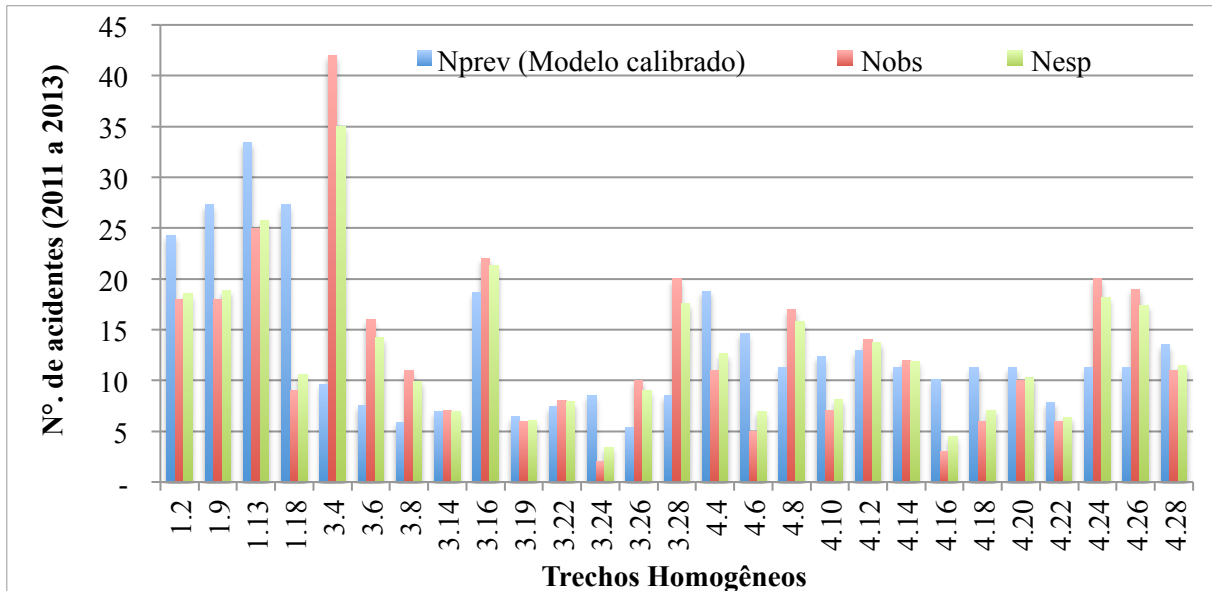


Figura 4.33 – Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Retornos

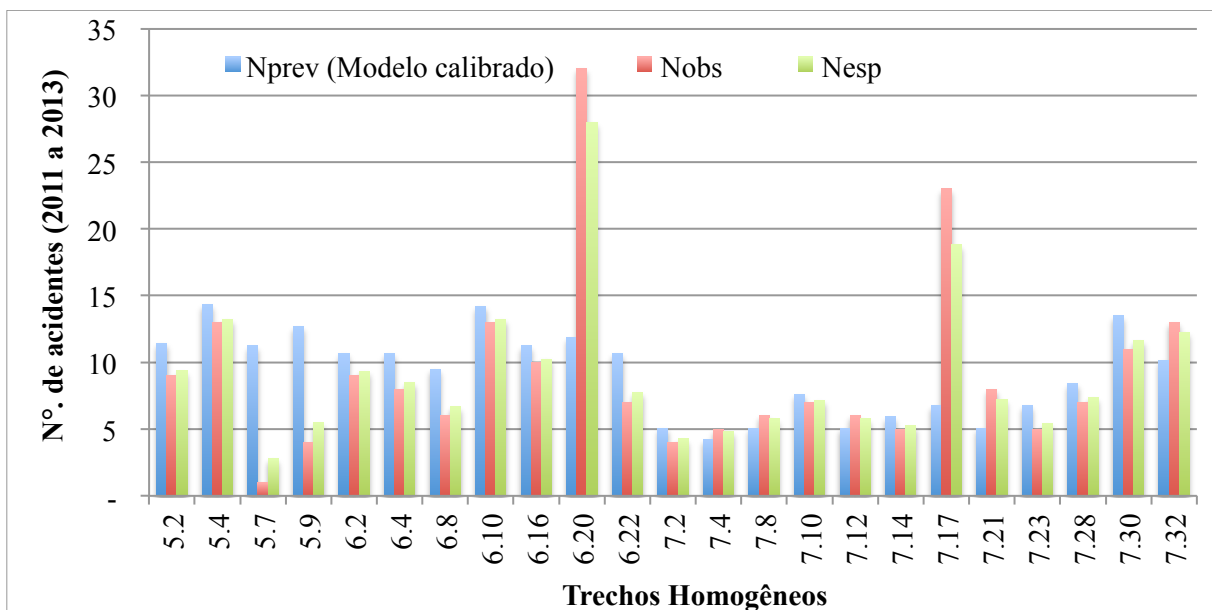


Figura 4.34 – Números de acidentes de 2011 a 2013, região GO/DF, Amostra Retornos

O baixo desempenho do modelo calibrado na Amostra Retornos indica a necessidade de se desenvolver Fatores de Modificação de Acidentes (CMFs) específicos para estes dispositivos. Um CMF específico deve investigar os diferentes parâmetros físicos e operacionais de

dispositivos de retornos, como a presença de faixas de aceleração e desaceleração, número de faixas de conversão, tipo do retorno, entre outros.

No horizonte de dados deste estudo, pôde-se obter um CMF representativo para retornos (CMF_R), a partir da relação entre o Fator de Calibração da Amostra Retornos (C_{X-R}) e o Fator de Calibração da Amostra Padrão (C_X), conforme apresentado na Tabela 4.21.

Tabela 4.21 – CMF_R indicativo nas regiões MG e GO/DF

	Amostra Padrão C_X	Amostra Retornos C_{X-R}	CMF_R
MG	2,37	3,25	1,37
GO	1,58	1,91	1,21

Na ausência de parâmetros preditivos específicos de retornos em rodovias de pista dupla, este CMF_R deve ser considerado com atenção, em caráter sugestivo. Estudos específicos mais abrangentes, com um maior número de trechos com retornos poderá fornecer valores mais confiáveis.

b) Amostra Faixas Adicionais

Na Amostra Faixas Adicionais o tamanho da amostra é muito reduzido nas duas regiões, o que compromete os resultados do procedimento de calibração. Apesar desta limitação, a aplicação do modelo preditivo do HSM nesta amostra alternativa fornece elementos para a avaliação exploratória proposta.

No modelo calibrado na Amostra Faixas Adicionais na região MG e para o período do estudo foi obtido um MAD de 8,39 acidentes/TH, havendo uma média de 20,67 acidentes/TH, e um MAPE igual a 41,55%. Na região GO/DF o MAD é de 4,42 acidentes/TH, havendo uma média de 10 acidentes/TH, e um MAPE igual a 68,10%.

Na Figura 4.35 (em MG) e na Figura 4.36 (em GO/DF) são apresentados os Fatores de Calibração pontuais obtidos na Amostra Faixas Adicionais.

Os Fatores de Calibração pontuais obtidos na Amostra Faixas Adicionais são irregulares, com uma grande variação nos diferentes trechos homogêneos e, de maneira geral, são superiores à

unidade, sugerindo que o modelo subestima o número de acidentes quando aplicado aos trechos homogêneos do estudo com faixas adicionais. Os Fatores de Calibração obtidos por rodovia (C_{X-FA1} a C_{X-FA7} , Tabela 4.18) apresentam uma grande variação dos fatores em cada região, o que sugere uma maior heterogeneidade nos dados de acidentes nos locais estudados.

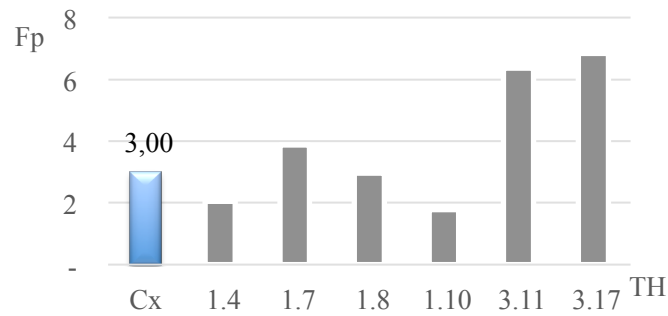


Figura 4.35 – Fator de Calibração pontual, por TH, na região MG e para a Amostra Faixas Adicionais

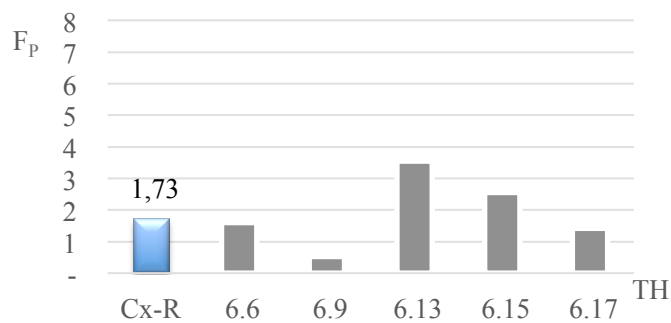


Figura 4.36 – Fator de Calibração pontual, por TH, na região GO/DF e para a Amostra Faixas Adicionais

Na investigação da relação entre o N_{previsto} e o $N_{\text{observado}}$ em MG e GO/DF (Figura 4.37 e Figura 4.38, respectivamente), os pontos no gráfico são dispersos e afastados da diagonal (45°).

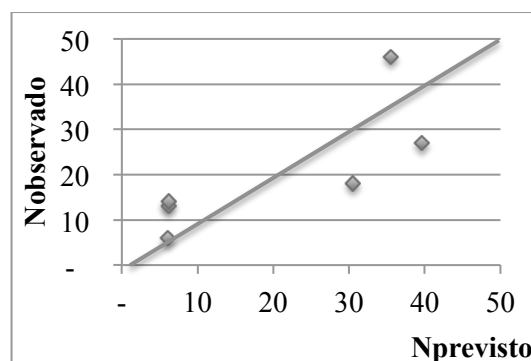


Figura 4.37 – N_{previsto} versus $N_{\text{observado}}$, região MG, Amostra Faixas Adicionais.

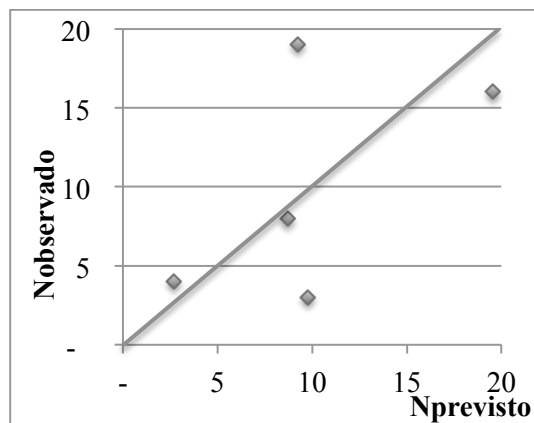


Figura 4.38 – N_{previsto} versus $N_{\text{observado}}$, região GO/DF, Amostra Faixas Adicionais.

A Figura 4.39 e a Figura 4.40 representam a plotagem do N_{previsto} , $N_{\text{observado}}$ e N_{esperado} em cada TH na Amostra Faixas Adicionais, nas regiões MG e GO/DF respectivamente.

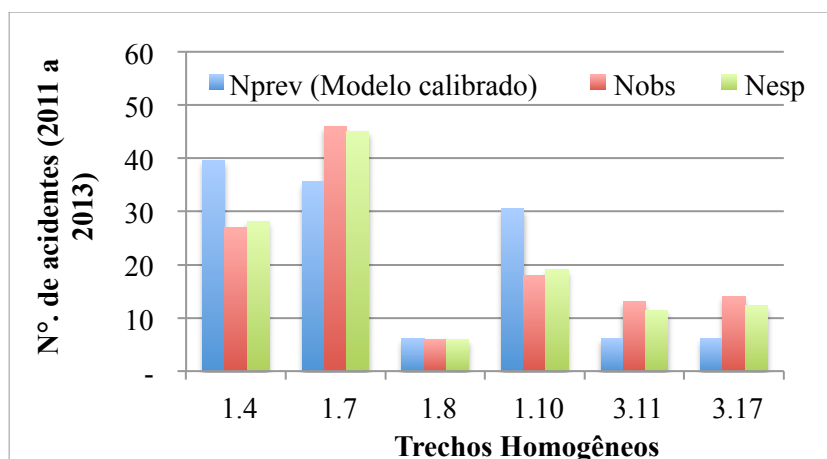


Figura 4.39 – Números de acidentes de 2011 a 2013, região MG, Amostra Faixas Adicionais

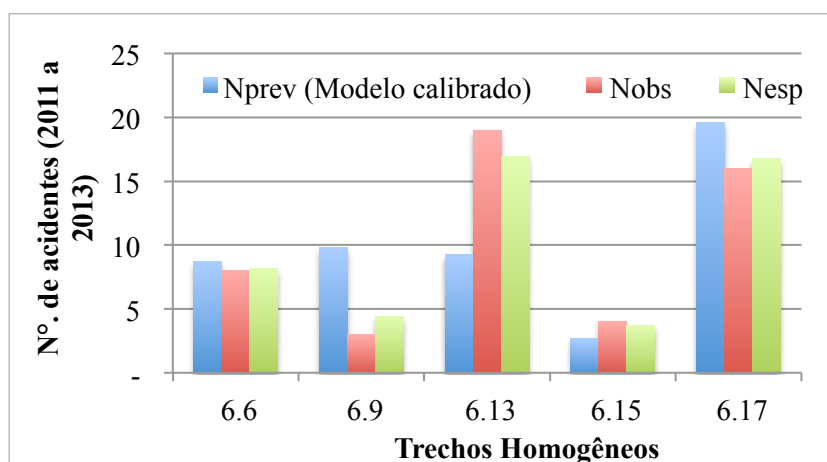


Figura 4.40 – Números de acidentes de 2011 a 2013, região GO/DF, Amostra Faixas Adicionais

Para a transferência do modelo preditivo do HSM para trechos homogêneos com faixas adicionais é necessária a investigação dos efeitos destes dispositivos na incidência de acidentes, buscando o desenvolvimento de Fatores de Modificação de Acidentes específicos.

A partir da Amostra Faixas Adicionais é possível calcular um CMF específico para estes dispositivos (CMF_{FA}), apenas indicativo, a partir da relação entre o Fator de Calibração da Amostra Faixas Adicionais (C_{X-FA}) e o Fator de Calibração da Amostra Padrão (C_X), conforme apresentado na Tabela 4.22.

Tabela 4.22 – CMF_{FA} indicativo nas regiões MG e GO/DF

	Amostra Padrão C_X	Amostra Faixas Adicionais C_{X-FA}	CMF_{FA}
MG	2,37	3	1,27
GO	1,58	1,73	1,09

No caso das faixas adicionais, devido ao fato da amostra ser bastante reduzida (Amostra Faixas Adicionais com 6 trechos em MG e 5 trechos em GO/DF), os valores de CMF_{FA} são apenas indicativos, e não comprovadamente representativos da região.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho propôs avaliar a transferibilidade do método de previsão de acidentes do HSM para rodovias rurais de pista dupla (RPDs) no Brasil, buscando uma avaliação quantitativa da segurança potencial dos elementos viários localizados nestas rodovias. A transferência do modelo preditivo é possível através de um procedimento de calibração do modelo.

A realização deste trabalho permitiu constatar a dificuldade existente para a consolidação de uma base de dados completa de trechos rodoviários brasileiros em RPDs. De fato, a compilação de todas as informações necessárias à aplicação do modelo preditivo do HSM não é uma tarefa trivial. Para as rodovias estudadas, nos estados de Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal, foram levantados, principalmente, os dados da seção transversal, o volume de tráfego (VMDA) e o histórico de acidentes. Para a obtenção desse banco de dados foram consultadas diferentes fontes de informação, em especial o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes e a Polícia Rodoviária Federal.

Nas rodovias analisadas foram identificados retornos e faixas adicionais, no entanto, estes dispositivos não são considerados pelo HSM no modelo preditivo para rodovias rurais de pista dupla. Dessa forma, visando enriquecer a análise e buscando avaliar o impacto da aplicação direta do modelo original do HSM nestes dispositivos, foram delimitadas diferentes amostras: Amostra Padrão (com THs que atendem inteiramente às especificações do Manual), Amostra Total (com todos os THs do estudo, incluindo os caracterizados por retornos e faixas adicionais), Amostra Retornos (amostra alternativa restrita aos retornos) e Amostra Faixas Adicionais (amostra alternativa exclusiva de faixas adicionais). O procedimento de calibração foi realizado para cada amostra e para cada região (MG e GO/DF). É importante frisar que a Amostra Padrão, a qual não inclui os retornos e faixas adicionais, é a que permite efetivamente avaliar a transferibilidade do modelo HSM nas RPDs analisadas, sendo assim, a investigação da hipótese inicial deste estudo está relacionada diretamente aos resultados da calibração e medidas de qualidade de ajuste nesta amostra.

O objetivo específico de estimar a frequência de acidentes em trechos homogêneos de rodovias brasileiras de pista dupla adotando os modelos do HSM sob três condições distintas: modelo não calibrado, modelo calibrado e modelo calibrado em conjunto com o método EB

foi alcançado, sendo este procedimento realizado para cada uma das quatro amostras e em cada região estudada.

5.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Este estudo traz resultados iniciais sobre a possibilidade de transferência do modelo preditivo do HSM para RPDs brasileiras. Na Amostra Padrão, e a partir de uma avaliação quantitativa do ajuste aos dados reais de acidentes do modelo calibrado, foi cumprido o objetivo geral da pesquisa, relacionado à avaliação da transferibilidade do método de previsão de acidentes do HSM em RPDs no Brasil. Na avaliação, foram aplicadas medidas de qualidade de ajuste do modelo calibrado, que são ferramentas comparativas entre as frequências obtidas com o método do HSM e as frequências observadas nos segmentos considerados. Os resultados não confirmam o sucesso da transferência do modelo. Verificou-se que o modelo preditivo do HSM calibrado em rodovias de pista dupla no estado de MG forneceu resultados com ajuste satisfatório aos dados reais. Em contrapartida, para a região GO/DF o ajuste do modelo calibrado foi precário, com medidas de qualidade de ajuste insatisfatórias. Dessa forma, a hipótese inicial da pesquisa não foi confirmada, embora tenham sido obtidos bons resultados na região MG. A não confirmação da hipótese inicial do trabalho não descarta a possibilidade da obtenção de um modelo calibrado com algum grau de sucesso em outras rodovias, mesmo nas regiões GO e DF, e para outras regiões.

Os Fatores de Calibração pontuais (F_p), de maneira predominante, apresentaram valores com grande variação nos diferentes trechos homogêneos do estudo, nas distintas amostras e regiões. Em um modelo calibrado bem ajustado aos dados reais, seria esperado valores mais constantes de F_p .

O resultado limitado da calibração do modelo preditivo na região de GO/DF pode estar relacionado à precisão dos dados ou por possivelmente haver diferenças nos procedimentos de cadastro de dados de acidentes na Polícia Rodoviária Federal nas duas jurisdições. Estas situações podem ter afetado o resultado do procedimento de calibração nesta região que vincula os dois limites geográficos.

Na calibração do modelo preditivo do HSM, seria desejável a inclusão de THs com uma gama maior de valores diferentes de VMDAs, o que permitiria um procedimento de calibração mais

abrangente e daria oportunidade para uma análise da qualidade de ajuste mais completa.

A não consideração de retornos e de faixas adicionais no modelo original do HSM para RPDs traz uma dificuldade maior na aplicação do modelo preditivo em segmentos rodoviários onde estes dispositivos são frequentes. Na região MG, a análise comparativa entre as amostras Padrão e Total indica que, em RPDs, o modelo preditivo do HSM não tem sucesso em prever a frequência de acidentes em retornos e faixas adicionais e sugere que a existência desses dispositivos tem impacto na aplicabilidade do HSM em trechos de RPDs e, portanto, devem ser considerados de forma adequada. Nesse estudo, foram obtidos Fatores de Modificação de Acidentes indicativos, em um nível exploratório, para retornos e faixas adicionais implantados em RPDs nas regiões estudadas. A determinação de fatores de correção para retornos e faixas adicionais, mesmo que em caráter preliminar, é uma contribuição importante deste trabalho visando a aplicação do HSM em rodovias brasileiras e abre uma importante linha de pesquisa.

5.2. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Durante o trabalho de pesquisa, ocorreram algumas limitações relacionadas à obtenção do banco de dados completo e confiável necessário à aplicação do modelo preditivo do HSM para rodovias rurais de pista dupla. Conforme apresentado na seção 4.2, alguns trechos inicialmente selecionados foram retirados do procedimento de calibração do modelo por haver informações incompletas ou conflitantes.

Uma segunda limitação é relativa à existência de dispositivos de retornos e faixas adicionais nas rodovias selecionadas. Estes dispositivos, frequentes nas rodovias selecionadas, não são contemplados no modelo preditivo de acidentes do HSM para rodovias de pista dupla. Ainda que esta situação apresentou uma limitação na aplicação do método, esta condição foi tomada como objeto de análise, fornecendo elementos para uma avaliação de cenários alternativos com diferentes amostras que, em um nível exploratório, buscaram avaliar o impacto da inclusão dos dispositivos de retornos e faixas adicionais no modelo original do HSM.

Estas duas situações limitaram o tamanho da Amostra Padrão utilizada no procedimento de calibração.

5.3. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Seguem algumas sugestões para trabalhos a serem desenvolvidos no futuro que visem contribuir para o avanço dos estudos de modelos preditivos de acidentes voltados para uma avaliação quantitativa da segurança em rodovias de pista dupla e também para o aperfeiçoamento do estudo apresentado na presente dissertação. São elas:

- Aplicar o modelo calibrado nesta dissertação em outros trechos rodoviários, nos respectivos estados, a fim de se avaliar o ajuste do modelo calibrado em uma amostra diferente da utilizada no procedimento de calibração;
- Ampliar o estudo do impacto de dispositivos de retornos e faixas adicionais na aplicação do modelo preditivo do HSM em rodovias rurais de pista dupla;
- Em uma nova pesquisa, para a região GO/DF o procedimento de calibração deveria ser reaplicado a um conjunto maior de RPDs na tentativa de se obter um modelo calibrado com um melhor ajuste;
- A partir da base de dados obtida neste trabalho, desenvolver um modelo preditivo próprio, específico para os locais estudados, permitindo uma análise comparativa do desempenho do modelo HSM transferido e do modelo próprio.
- Investigar outras características geométricas e operacionais, com a identificação de outros Fatores de Modificação de Acidentes, visando alcançar um melhor ajuste do modelo preditivo do HSM nas rodovias rurais de pista dupla no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (2010) American Association of State and Highway Transportation Officials. *Highway Safety Manual*, Washington, EUA.
- ABDEL-ATY, M.A. & RADWAN, E.A. (2000) Modeling traffic accident occurrence and involvement. *Accident Analysis and Prevention*, v.32, p. 633–642.
- BANIHASHEMI, M. (2012) Sensitivity analysis of data set sizes for Highway Safety Manual calibration factors. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., n°. 2279, p. 75–81.
- BARBOSA, H. M. & COSTA, T. G. (2011) Modelos de previsão de acidentes de trânsito em vias urbanas de Belo Horizonte. *Anais do XXV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Belo Horizonte, MG, p. 1959-1970.
- BARBOSA, H., CUNTO, F., BEZERRA, B., NODARI, C. & JACQUES, M. A. (2014) Safety performance models for urban intersections in Brazil. *Accident Analysis and Prevention*, v. 70, p. 258–266.
- BOFFO, G. H. (2011) *Formatos e Técnicas de Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós- graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
- CAFISO, S., SILVESTRO, G. & GUARDO, G. (2012) Application of Highway Safety Manual to italian divided multilane highways. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 53, p. 911–920.
- CARDOSO, G. (2006) *Modelos para Previsão de Acidentes de Trânsito em Vias Arteriais Urbanas*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
- CARDOSO, G. & GOLDNER, L. (2007) Desenvolvimento e aplicação de modelos para previsão de acidentes de trânsito. *Revista Transportes*, v. 15 (2), p. 43–51.
- CHEN, Y., PERSAUD B. & SACCHI, E. (2012) Improving transferability of safety performance functions by Bayesian model averaging. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., n°. 2280, p. 162–172.
- CLAUDE, G.F. (2012) *Previsão da Ocorrência de Acidentes de Trânsito em Interseções de Vias Arteriais Urbanas – O Caso de Taguatinga/DF*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Transportes, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- CUNTO, F. J.C., CASTRO NETO, M. M. & BARREIRA, D. (2012) Modelos de previsão de acidentes de trânsito em interseções semaforizadas de Fortaleza. *Revista Transportes*, v. 20, n. 2, p. 55–62.
- CUNTO, F., SOBREIRA, L., & FERREIRA, S. (2015) Assessing the transferability of the Highway Safety Manual predictive method for urban roads in Fortaleza City, Brazil. *Journal of Transportation Engineering*, v. 141, 8 p.
- D’AGOSTINO, C. (2014) Investigating transferability and goodness of fit of two different approaches of segmentation and model form for estimating safety performance of motorways. *Procedia Engineering*, v. 84, p. 613 – 623.
- DAVIS, G.A. (2004) Possible aggregation biases in road safety research and a mechanism approach to accident modeling. *Accident Analysis and Prevention*, v. 36, p. 1119–1127.
- DNER (1999) Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. Publicação 706, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Ministério dos Transportes, Brasília, 195p.

- DNIT (2004) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Custos de Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais – Sumário Executivo*. Publicação 733, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Ministério dos Transportes, Brasília, 33p.
- DNIT (2005) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Manual de Projeto de Interseções*. Publicação 718, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Ministério dos Transportes, Brasília, 528p.
- DNIT (2006) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Manual de Estudos de Tráfego*. Publicação 723, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Ministério dos Transportes, Brasília, 384p.
- DNIT (2010) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Anuário Estatístico das Rodovias Federais. – Acidentes de Trânsito e Ações de Enfrentamento ao Crime*. Endereço eletrônico <www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviarias/estatisticas-de-acidentes/anuario-2010.pdf>, acessado em 25 fev. 2015.
- DNIT (2015) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Evolução da malha rodoviária federal*. Endereço eletrônico < <http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/sistema-nacional-de-viacao>> , acessado em 10 jun. 2015
- DUARTE, R. M. S. (2012) *Aplicação do Método de Previsão de Acidentes do Highway Safety Manual em Interseções do Meio Urbano*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.
- ELVIK, R. (2002) The importance of confounding in observational before-and-after studies of road safety measures. *Accident Analysis and Prevention*, v. 34, p. 631–635.
- ELVIK, R. & VAA, T. (2004) *The Handbook of Road Safety Measures*. Elsevier Science, Burlington, MA, EUA.
- FERRAZ, C., RAIA JR., A., BEZERRA, B., BASTOS, T. & RODRIGUES, K. (2012) *Segurança Viária*. Suprema Gráfica e Editora. Núcleo de Estudos de Segurança no Trânsito, Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, Brasil.
- FERREIRA, S. & COUTO, A. (2013) Traffic flow-accidents relationship for urban intersections on the basis of the translog function. *Safety Science*, v. 60, p. 115–122.
- FITZPATRICK, K., SCHNEIDER IV W.H., & CARVELL, J. (2006) Using the rural two-lane Highway Draft Prototype Chapter. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., n. 1950, p. 44–54.
- GOOGLE (2015) Software Google Earth Pro, versão 7.1.4.1529. Compilado em 30 mar 2015, disponível em: <http://www.google.com/earth/>.
- HARKEY, D.L., RAGHAVAN, S., JONGDEA, B., COUNCIL, F. M., ECCLES, K., LEFLER, N., GROSS, F., PERSAUD, B., LYON, C., HAUER, E. & BONNESON, J. (2008) *Crash Reduction Factors for Traffic Engineering and ITS Improvement*. National Cooperative Highway Research Program Report Program, NCHRP 617, Transportation Research Board, Washington, DC, EUA.
- HARWOOD, D. W., BAUER, K. M., POTTS, I. B., TORBIC D. J., RICHARD, K. R., KOHLMAN RABBANI E. R., HAUER, E. & ELEFTERIADOU L. (2002) *Safety Effectiveness of Intersection Left- and Right-Turn Lanes*. Federal Highway Administration report RD-02-089, Washington, DC, EUA.
- HARDIN, J. W. e HILBE, J. M. (2007) *Generalized Linear Models and Extensions*. 2ed. Stata Press: College Station, Texas, EUA.
- HAUER, E., & BAMFO, J. (1997) Two tools for finding what function links the dependent variable to the explanatory variables. *Proceedings of the International Co-operation on Theories and Concepts in Traffic Safety Conference, ICTCT 1997*, Lund, Sweden.

- HAUER, E. (1997) Observational Before-after Studies in Road Safety: Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety. Pergamon Press, Elsevier Science Ltd, Oxford, UK.
- HAUER, E., HARWOOD, D. W., COUNCIL, F. M., & GRIFFITH, M. S. (2002) Estimating safety by the Empirical Bayes Method: A tutorial. *Transportation Research Record*, National Research Council, Washington, DC, n. 1784.
- HAUER, E. (2004a) Statistical road safety modeling. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 1897, Transportation Research Board, Washington, D.C., p 81-87.
- HAUER, E. (2004b) Safety models for urban four-lane undivided road segments. *Proceedings of the 83rd TRB Annual Meeting*, Washington, DC, USA.
- IPEA (2010) Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Infraestrutura Econômica no Brasil: Diagnósticos e Perspectivas para 2025*, Projeto Perspectivas do Desenvolvimento Brasileiro, Brasília, Brasil, v.1, 586 p.
- IVEY, D. L., GRIFFIN, L. I., NEWTON, T. M., LYTTON, N. R. & HANKINS K. C. (1981) Predicting wet weather accidents. *Accident Analysis and Prevention*, v. 13, p. 83-89.
- JOSHUA, S. & GARBER, N. (1990) Estimating truck accident rate and involvement using linear and Poisson regression models. *Transportation Planning and Technology*, v. 15, p. 41–58.
- KVÁLSETH, T. O. (1985) Cautionary Note About R2. *The American Statistician*, v. 39, nº. 4, pp. 279-285.
- KOOREY, G. (2010) Calibration of Highway Crash Prediction Models for Other Countries: A Case Study with IHSDM. *Proceedings of the 4th International Symposium on Highway Geometric Design*, Valencia, Spain.
- LORD, D. & PERSAUD, B. N. (2000) Accident Prediction Models with and without Trend: Application of the Generalized Estimating Equation Procedure. *Transportation Research Record*, n. 1717, National Research Council, Washington, DC, pp. 102–108.
- LORD, D. (2000) *The Prediction of Accidents on Digital Networks: Characteristics and Issues Related to the Application of Accident Prediction Models*. Ph.D. Tese. University of Toronto.
- LORD, D., GEEDIPALLY, S.R., PERSAUD, B.N., WASHINGTON, S.P., SCHALKWYK I.V., IVAN, J.N., LYON, C., & JONSSON, T. (2008) *Methodology for Estimating the Safety Performance of Multilane Rural Highways*. National Cooperative Highway Research Program Document, NCHRP 126, Transportation Research Board, Washington, DC, EUA.
- LORD, D. & MANNERING, F. (2010) The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A* 44, p. 291–305.
- LU, J., HALEEM, K., ALLURI, P., GAN, A. & LIU, K. (2014) Developing local safety performance functions versus calculating calibration factors for Safety Analyst applications: A Florida case study. *Safety Science*, v. 65, p. 93–105.
- MARTINELLI, F., LA TORRE, F. & VADI, P. (2009) Calibration of the Highway Safety Manual's Accident Prediction Model for Italian Secondary Road Network. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 2103, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 1–9.
- MIAOU, S. & LUM, H. (1993) Modeling vehicle accident and highway geometric design relationships. *Accident Analysis and Prevention*, v. 25(6), p. 689–709.
- MOUNTAIN, L., FAWAZ, B. & JARRETT, D. (1996) Accident prediction models for roads with minor junctions. *Accident Analysis and Prevention*, v. 28, n. 6, p. 695-707.
- NODARI, C. T. (2003) *Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples*. Tese de doutorado. Escola de Engenharia. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

- OH, J., LYON, C., WASHINGTON, S., PERSAUD, B. & BARED, J. (2003) Validation of the FHWA crash models for rural intersections: lessons learned. *Transportation Research Record* 1840, p. 41–49.
- OH, J., WASHINGTON, S. & NAM, D. (2006) Accident Prediction Model for Railway - Highway Interfaces. *Accident Analysis and Prevention*, v. 38, p. 346–356.
- OMS (2013) Organização Mundial da Saúde. *Global status report on road safety 2013: Supporting a decade of action*. World Health Organization, Genebra, Suíça.
- ONU (2010) Organização das Nações Unidas. *Global Plan for the Decade of Action for Road Safety, 2011-2020*, Version 3.
- PERSAUD, B. N., RETTING, R. A., GARDER, P. E. & LORD, D. (2001) Safety effect of roundabout conversions in the United States: Empirical Bayes observational before-after studies. *Transportation Research Record*, n. 1751, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.
- PERSAUD, B., LORD, D. & PALMISANO, J. (2002) Calibration and transferability of accident prediction models for urban intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n.1784, p. 57-64.
- PERSAUD B. & LYON C. (2007) Empirical Bayes before–after safety studies: Lessons learned from two decades of experience and future directions. *Accident Analysis and Prevention*, v. 39, p. 546–555.
- PERSAUD, B., LYON, C., FAISAL, S., CHEN, Y. & JAMES, B. (2011) Adoption of Highway Safety Manual methodologies for safety assessment of Canadian roads. *Transport Canada*, Ryerson University, Toronto, Canada.
- PIL (2015) Programa de Investimento em Logística. Endereço eletrônico <<http://www.logisticabrasil.gov.br/rodovias3>> Acessado em 17 jun. 2015.
- POCH, M. & MANNERING, F. (1996) Negative binomial analysis of intersection accident frequencies. *Journal of Transportation Engineering* v.122(2).
- SACCHI, E., PERSAUD, B., & BASSANI, M. (2012) Assessing international transferability of the highway safety manual crash prediction algorithm and its components. *Transportation Research Record*, n. 12279, Transportation Research Board, Washington, DC, p. 90–98.
- SAVOLAINEN, P. T., MANNERING, F. L., LORD, D., & QUDDUS M. A. (2011) The statistical analysis of highway crash-injury severities: A review and assessment of methodological alternatives. *Accident Analysis and Prevention*, v. 43, p.1666–1676.
- SAWALHA, Z. & SAYED, T. (2001) Evaluating safety of urban arterial roadways. *Journal of Transportation Engineering*, v. 127, n. 2, p. 151-158.
- SAWALHA, Z., & SAYED, T. (2006) Transferability of accident prediction models. *Safety Science*, v. 44, p. 209–219.
- SILVA, K. C. R. (2011) *Aplicação do Modelo de Previsão de Acidentes do HSM em Rodovias de Pista Simples do Estado de São Paulo*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Brasil.
- SRINIVASAN, R., CARTER, D & BAUER, K. (2013) *Safety Performance Function Decision Guide: SPF Calibration vs SPF Development*. Federal Highway Administration Office of Safety. Report n. FHWA-SA-14-004, Washington, EUA.
- SUN, X., MAGRI, D., SHIRAZI, H. H. & GILLELLA, S. (2011) Application of the Highway Safety Manual: Louisiana experience with rural multilane highways. *Compendium of the Transportation Research Board 90th Annual Meeting*, Washington, DC, EUA.

SUN, X., LI, Y., MAGRI, D. & SHIRAZI, H.H. (2006) Application of Highway Safety Manual draft chapter - Louisiana experience. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 1950, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., EUA, p. 55–64.

VOGT, A. & BARED, J.G. (1998) *Accident Models for Two-Lane Rural Road: Segments and Intersections*. Federal Highway Administration Office of Safety, Report FHWA-RD-98-133, Washington, DC.

XIE, F., GLADHILL, K., DIXON, K., & MONSERE, C. (2011) Calibrating the Highway Safety Manual predictive models for Oregon state highways. *Proceedings of th 90th Annual Meeting of Transportation Research Board*, Washington, DC, p. 1–9.

A. APÊNDICE – PLANILHAS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO

As Tabelas A.1 a A.6 apresentam um relatório da divisão em trechos homogêneos nos seis diferentes segmentos viários estudados e indica as principais características de cada TH.

Tabela A.1 – Segmentação da BR 040/MG (nº. 1): principais características dos THs

TH	SNV - 2013		Extensão (km)	VMDA (2011)	Faixas (m)	Acost. (m)	Canteiro central (m)	Iluminação	Obs.
	Início	Fim							
1.1	477,60	478,40	0,80	25.725	3,5	2,5	4,8	ausente	
1.2	478,40	479,20	0,80	25.725	3,5	2,5	17,4 (var. 4,8 a ≥ 30)	ausente	R
1.3	479,20	479,60	0,40	25.725	3,5	2,5	4,8	ausente	
1.4	479,60	480,90	1,30	25.725	3,5	2,5	4,8	ausente	FA
1.5	480,90	482,95	2,05	25.725	3,5	2,5	4,8	ausente	
1.6	482,95	483,10	0,15	25.725	3,5	2,5	4,8 (+ DSF)	ausente	
1.7	483,10	484,30	1,20	25.725	3,5	2,5	4,8 (+ DSF)	ausente	FA
1.8	484,30	484,50	0,20	25.725	3,5	2,5	4,8	ausente	FA
1.9	484,50	485,40	0,90	25.725	3,5	2,5	17,4 (var. 4,8 a ≥ 30)	ausente	R
1.10	485,40	486,40	1,00	25.725	3,5	2,5	4,8	ausente	FA
1.11	486,40	487,60	1,20	25.725	3,5	2,5	4,8	ausente	
1.12	487,60	489,90	2,30	25.725	3,5	2,5	4,8 (+ DSF)	ausente	
1.13	489,90	491,00	1,10	25.725	3,5	2,5	17,4 (var. 4,8 a ≥ 30)	ausente	R
1.14	491,00	491,85	0,85	25.725	3,5	2,5	4,8	ausente	
1.15	491,85	492,50	0,65	25.725	3,5	2,5	4,8 (+ DSF)	ausente	
1.16	492,85	493,70	0,85	25.725	3,5	2,5	4,8 (+ DSF)	ausente	
1.17	493,70	494,10	0,40	25.725	3,5	2,5	4,8	ausente	
1.18	494,10	495,00	0,90	25.725	3,5	2,5	17,4 (var. 4,8 a ≥ 30)	ausente	R
1.19	495,00	495,80	0,80	25.725	3,5	2,5	4,8	ausente	

Nota: (1) Com relação ao tipo de RPD, todos os THs são com divisão central. (2) Com relação ao tipo de acostamento, todos os THs possuem acostamentos pavimentados. (3) Sendo que todos os THs são de RPDs com divisão central, não foram avaliadas as inclinações do talude lateral. (4) Para todos os THs foi considerada a ausência de controladores automáticos de velocidade.

Abreviações: DSF = Dispositivo de Separação Física; Acost. = acostamento; Obs. = observação; var. = variável; R = Retorno; FA = Faixa Adicional.

Tabela A.2– Segmentação da BR 050/MG (nº. 3): principais características dos THs

TH	SNV - 2013		Extensão (km)	VMDA (2013)	Faixa (m)	Acost. (m)	Canteiro central (m)	Iluminação	Obs.
	Início	Fim							
3.1	133,30	135,04	1,74	9.752	3,6	2,5	6	ausente	
3.2	135,04	135,20	0,16	9.752	3,6	1,75 (PD = 2,5/ PE ≤ 1)	6	ausente	
3.3	135,20	135,50	0,30	9.752	3,6	2,5	6	ausente	
3.4	135,50	136,40	0,90	9.752	3,6	2,5	13 (var. 6 a 20)	ausente	R
3.5	136,40	140,00	3,60	9.752	3,6	2,5	6	ausente	
3.6	140,00	140,70	0,70	9.752	3,6	2,5	10,5 (var. 6 a 15)	ausente	R
3.7	140,70	144,70	4,00	9.752	3,6	2,5	6	ausente	
3.8	144,70	145,25	0,55	9.752	3,6	2,5	13 (var. 6 a 20)	ausente	R
3.9	145,25	146,25	1,00	9.752	3,6	2,5	6	ausente	
3.10	146,25	146,90	0,65	9.752	3,6	2,5	13 (var. 6 a 20)	ausente	FA e R
3.11	146,90	147,50	0,60	9.752	3,6	2,5	6	ausente	FA
3.12	147,50	147,75	0,25	9.752	3,6	2,0 (PD = 1,5/ PE ≤ 2,5)	6	ausente	
3.13	147,75	148,80	1,05	9.752	3,6	2,5	6	ausente	
3.14	148,80	149,45	0,65	9.752	3,6	2,5	13 (var. 6 a 20)	ausente	R
3.15	149,45	151,25	1,80	9.752	3,6	2,5	6	ausente	
3.16	151,25	153,00	1,75	9.752	3,6	2,5	13 (var. 6 a 20)	ausente	R
3.17	153,00	153,60	0,60	9.752	3,6	2,5	6	ausente	FA
3.18	153,60	154,40	0,80	9.752	3,6	2,5	6	ausente	
3.19	154,40	155,00	0,60	9.752	3,6	2,5	13 (var. 6 a 20)	ausente	R
3.20	155,00	156,20	1,20	9.752	3,6	2,5	6	ausente	
3.21	156,20	156,40	0,20	9.752	3,6	1,0 (PD = 1,5/ PE ≤ 0,5)	6	ausente	
3.22	156,40	157,10	0,70	9.752	3,6	2,5	13 (var. 6 a 20)	ausente	R
3.23	157,10	158,20	1,10	9.752	3,6	2,5	6	ausente	
3.24	158,20	159,00	0,80	9.752	3,6	2,5	13 (var. 6 a 20)	ausente	R
3.25	159,00	161,20	2,20	9.752	3,6	2,5	6	ausente	
3.26	161,20	161,70	0,50	9.752	3,6	2,5	13 (var. 6 a 20)	ausente	R
3.27	161,70	162,00	0,30	9.752	3,6	2,5	6	ausente	
3.28	162,00	162,80	0,80	9.752	3,6	2,5	13 (var. 6 a 20)	ausente	R
3.29	162,80	164,00	1,20	9.752	3,6	2,5	6	ausente	

Nota: (1) Com relação ao tipo de RPD, todos os THs são com divisão central. (2) Com relação ao tipo de acostamento, todos os THs possuem acostamentos pavimentados. (3) Sendo que todos os THs são de RPDs com divisão central, não foram avaliadas as inclinações do talude lateral. (4) Para todos os THs foi considerada a ausência de controladores automáticos de velocidade.

Abreviações: Acost. = acostamento; Obs. = observação; var. = variável; PD = pista direita; PE = pista esquerda
R = Retorno; FA = Faixa Adicional.

Tabela A.3– Segmentação da BR 050/MG (nº. 4): principais características dos THs

TH	SNV - 2013		Extensão (km)	VMDA (2013)	Faixa (m)	Acost. (m)	Canteiro central (m)	Iluminação	Obs.
	Início	Fim							
4.1	82,00	82,50	0,50	10.500	3,6	2,5	6	ausente	
4.2	82,50	82,80	0,30	10.500	3,6	1,5 (PD=0,5 e PE=2,5)	6	ausente	
4.3	82,80	85,23	2,43	10.500	3,6	2,5	6	ausente	
4.4	85,23	86,90	1,67	10.500	3,6	2,5	20	ausente	R
4.5	86,90	89,10	2,20	10.500	3,6	2,5	6	ausente	
4.6	89,10	90,40	1,30	10.500	3,6	2,5	20	ausente	R
4.7	90,40	92,60	2,20	10.500	3,6	2,5	6	ausente	
4.8	92,60	93,60	1,00	10.500	3,6	2,5	20	ausente	R
4.9	93,60	99,60	6,00	10.500	3,6	2,5	6	ausente	
4.10	99,60	100,70	1,10	10.500	3,6	2,5	20	ausente	R
4.11	100,70	102,35	1,65	10.500	3,6	2,5	6	ausente	
4.12	102,35	103,50	1,15	10.500	3,6	2,5	20	ausente	R
4.13	103,50	105,60	2,10	10.500	3,6	2,5	6	ausente	
4.14	105,60	106,60	1,00	10.500	3,6	2,5	20	ausente	R
4.15	106,60	109,50	2,90	10.500	3,6	2,5	6	ausente	
4.16	109,50	110,40	0,90	10.500	3,6	2,5	20	ausente	R
4.17	110,40	112,20	1,80	10.500	3,6	2,5	6	ausente	
4.18	112,20	113,20	1,00	10.500	3,6	2,5	20	ausente	R
4.19	113,20	115,30	2,10	10.500	3,6	2,5	6	ausente	
4.20	115,30	116,30	1,00	10.500	3,6	2,5	20	ausente	R
4.21	116,30	117,10	0,80	10.500	3,6	2,5	6	ausente	
4.22	117,10	117,80	0,70	10.500	3,6	2,5	20	ausente	R
4.23	117,80	118,80	1,00	10.500	3,6	2,5	6	ausente	
4.24	118,80	119,80	1,00	10.500	3,6	2,5	20	ausente	R
4.25	119,80	123,40	3,60	10.500	3,6	2,5	6	ausente	
4.26	123,40	124,40	1,00	10.500	3,6	2,5	20	ausente	R
4.27	124,40	130,60	6,20	10.500	3,6	2,5	6	ausente	
4.28	130,60	131,80	1,20	10.500	3,6	2,5	20	ausente	R
4.29	131,80	133,30	1,50	10.500	3,6	2,5	6	ausente	

Nota: (1) Com relação ao tipo de RPD, todos os THs são com divisão central. (2) Com relação ao tipo de acostamento, todos os THs possuem acostamentos pavimentados. (3) Sendo que todos os THs são de RPDs com divisão central, não foram avaliadas as inclinações do talude lateral. (4) Para todos os THs foi considerada a ausência de controladores automáticos de velocidade.

Abreviações: Acost. = acostamento; Obs. = observação; PD = pista direita; PE = pista esquerda; R = Retorno.

Tabela A.4 – Segmentação da BR 060/DF (nº. 5): principais características dos THs

TH	SNV - 2013		Extensão (km)	VMDA (2013)	Faixa (m)	Acost. (m)	Canteiro central (m)	Iluminação	Obs.
	Início	Fim							
5.1	13,80	15,80	2,00	26.686	3,5	2,5	10	presente	
5.2	15,80	16,50	0,70	26.686	3,5	2,5	15 (var. 10 a 30)	presente	R
5.3	16,50	17,90	1,40	26.686	3,5	2,5	10	ausente	
5.4	17,90	18,70	0,80	26.686	3,5	2,5	15 (var. 10 a 30)	ausente	R
5.5	18,70	20,00	1,30	26.686	3,5	2,5	10	ausente	
5.6	20,00	22,20	2,20	21.174	3,5	2,5	10	ausente	
5.7	22,20	23,00	0,80	21.174	3,5	2,5	15 (var. 10 a 30)	ausente	R
5.8	23,00	26,10	3,10	21.174	3,5	2,5	10	ausente	
5.9	26,10	27,00	0,90	21.174	3,5	2,5	15 (var. 10 a 30)	ausente	R
5.10	27,00	29,40	2,40	21.174	3,5	2,5	10	ausente	

Nota: (1) Com relação ao tipo de RPD, todos os THs são com divisão central. (2) Com relação ao tipo de acostamento, todos os THs possuem acostamentos pavimentados. (3) Sendo que todos os THs são de RPDs com divisão central, não foram avaliadas as inclinações do talude lateral. (4) Para todos os THs foi considerada a ausência de controladores automáticos de velocidade.

Abreviações: Acost. = acostamento; Obs. = Observação; var. = variável; R = Retorno.

Tabela A.5 – Segmentação da BR 060/GO (nº. 6): principais características dos THs

TH	SNV - 2013		Extensão (km)	VMDA (2011)	Faixa (m)	Acost. (m)	Canteiro central (m)	Iluminação	Obs.
	Início	Fim							
6.1	63,70	65,00	1,30	17.211	3,5	2,5	15	ausente	
6.2	65,00	65,90	0,90	17.211	3,5	2,5	22,5 (var. 15 a 30)	ausente	R
6.3	65,90	66,90	1,00	17.211	3,5	2,5	15	ausente	
6.4	66,90	67,80	0,90	17.211	3,5	2,5	22,5 (var. 15 a 30)	ausente	R
6.5	67,80	68,30	0,50	17.211	3,5	2,5	15	ausente	
6.6	68,30	69,10	0,80	17.211	3,5	2,5	15	ausente	FA
6.7	69,10	69,30	0,20	17.211	3,5	2,5	15	ausente	
6.8	69,30	70,10	0,80	17.211	3,5	2,5	22,5 (var. 15 a 30)	ausente	R
6.9	70,10	71,00	0,90	17.211	3,5	2,5	15	ausente	FA
6.10	71,00	72,20	1,20	17.211	3,5	2,5	22,5 (var. 15 a 30)	ausente	R
6.11	72,20	73,20	1,00	17.211	3,5	2,5	15	ausente	
6.12	73,20	73,85	0,65	17.211	3,5	2,5	4	ausente	SL
6.13	73,85	74,70	0,85	17.211	3,5	2,5	15	ausente	FA
6.14	74,70	74,90	0,20	17.211	3,5	2,5	15	ausente	
6.15	74,90	75,15	0,25	17.211	3,5	2,5	15	ausente	FA
6.16	75,15	76,10	0,95	17.211	3,5	2,5	22,5 (var. 15 a 30)	ausente	R
6.17	76,10	77,90	1,80	17.211	3,5	2,5	15	ausente	FA
6.18	77,90	78,60	0,70	17.211	3,5	2,5	6	ausente	
6.19	79,45	82,20	2,75	17.211	3,5	2,5	15	ausente	
6.20	82,20	83,20	1,00	17.211	3,5	2,5	22,5 (var. 15 a 30)	ausente	R
6.21	83,20	85,40	2,20	17.211	3,5	2,5	15	ausente	
6.22	85,40	86,30	0,90	17.211	3,5	2,5	22,5 (var. 15 a 30)	ausente	R
6.23	86,30	87,00	0,70	17.211	3,5	2,5	15	ausente	

Nota: (1) Com relação ao tipo de RPD, todos os THs são com divisão central. (2) Com relação ao tipo de acostamento, todos os THs possuem acostamentos pavimentados. (3) Sendo que todos os THs são de RPDs com divisão central, não foram avaliadas as inclinações do talude lateral. (4) Para todos os THs foi considerada a ausência de controladores automáticos de velocidade.

Abreviações: Acost. = acostamento; Obs. = Observação; var. = variável; SL = maior ocupação solo lateral; FA = Faixa Adicional; R = Retorno.

Tabela A.6 – Segmentação da BR 153/GO (nº. 7): principais características dos THs

TH	SNV - 2013		Extensão (km)	VMDA (2011)	Faixa (m)	Acost. (m)	Canteiro central (m)	Iluminação	Obs.
	Início	Fim							
7.1	624,10	625,30	1,20	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.2	625,30	625,90	0,60	12.473	3,6	2,5	20 (var. 10 a ≥ 30)	ausente	R
7.3	625,90	627,60	1,70	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.4	627,60	628,10	0,50	12.473	3,6	2,5	20 (var. 10 a ≥ 30)	ausente	R
7.5	628,10	632,20	4,10	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.6	633,90	635,70	1,80	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.7	636,60	637,90	1,30	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.8	637,90	638,50	0,60	12.473	3,6	2,5	20 (var. 10 a ≥ 30)	ausente	R
7.9	638,50	642,20	3,70	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.10	642,20	643,10	0,90	12.473	3,6	2,5	20 (var. 10 a ≥ 30)	ausente	R
7.11	643,10	647,10	4,00	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.12	647,10	647,70	0,60	12.473	3,6	2,5	20 (var. 10 a ≥ 30)	ausente	R
7.13	647,70	653,00	5,30	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.14	653,00	653,70	0,70	12.473	3,6	2,5	20 (var. 10 a ≥ 30)	ausente	R
7.15	653,70	659,70	6,00	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.16	661,10	663,80	2,70	12.473	3,6	2,5	10	ausente	SL
7.17	663,80	664,60	0,80	12.473	3,6	2,5	20 (var. 10 a ≥ 30)	ausente	R
7.18	664,60	666,70	2,10	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.19	667,90	668,70	0,80	12.473	3,6	PD-2,5/ PE-4,5	10	ausente	
7.20	668,70	669,00	0,30	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.21	669,00	669,60	0,60	12.473	3,6	2,5	20 (var. 10 a ≥ 30)	ausente	R
7.22	669,60	670,40	0,80	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.23	670,40	671,20	0,80	12.473	3,6	2,5	20 (var. 10 a ≥ 30)	ausente	R
7.24	671,20	671,53	0,33	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.25	671,53	671,70	0,17	12.473	3,6	2,5	DSF	ausente	
7.26	671,70	675,10	3,40	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.27	676,20	682,10	5,90	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.28	682,10	683,10	1,00	12.473	3,6	2,5	20 (var. 10 a ≥ 30)	ausente	R
7.29	683,10	688,30	5,20	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.30	688,30	689,90	1,60	12.473	3,6	2,5	20 (var. 10 a ≥ 30)	ausente	R
7.31	689,90	692,30	2,40	12.473	3,6	2,5	10	ausente	
7.32	692,30	693,50	1,20	12.473	3,6	2,5	20 (var. 10 a ≥ 30)	ausente	R
7.33	693,50	695,10	1,60	12.473	3,6	2,5	10	ausente	

Nota: (1) Com relação ao tipo de RPD, todos os THs são com divisão central. (2) Com relação ao tipo de acostamento, todos os THs possuem acostamentos pavimentados. (3) Sendo que todos os THs são de RPDs com divisão central, não foram avaliadas as inclinações do talude lateral. (4) Para todos os THs foi considerada a ausência de controladores automáticos de velocidade.

Abreviações: DSF = Dispositivo de Separação Física; Acost. = acostamento; Obs. = observação; PD = pista direita; PE = pista esquerda; var. = variável; SL = maior ocupação solo lateral; R = Retorno.

As Tabelas A.7 a A.14 apresentam o número de acidentes previsto (modelo sem calibração) e o número de acidentes observados, por ano e por trecho homogêneo, assim como o Fator de Calibração pontual (F_p) obtido em cada TH ao longo dos três anos analisados e para cada uma das amostras e região consideradas, conforme indicação. Ao final de cada tabela está indicado o Fator de Calibração obtido em cada amostra.

Tabela A.7 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (MG) – Amostra Padrão

	TH	Extensão TH (km)	2011		2012		2013		F_p
			N_{prev}^*	N_{obs}	N_{prev}^*	N_{obs}	N_{prev}^*	N_{obs}	
1	1.1	0,80	2,62	5	2,71	8	2,79	22	4,31
2	1.3	0,40	1,31	4	1,35	2	1,40	11	4,19
3	1.5	2,05	6,72	13	6,93	12	7,15	20	2,16
4	1.6	0,15	0,48	4	0,49	3	0,51	8	10,13
5	1.11	1,20	3,94	4	4,06	5	4,19	5	1,15
6	1.12	2,30	7,33	19	7,56	12	7,80	17	2,11
7	1.14	0,85	2,79	3	2,88	6	2,97	9	2,09
8	1.15	0,65	2,07	3	2,14	1	2,21	4	1,25
9	1.16	0,85	2,71	5	2,80	6	2,88	4	1,79
10	1.17	0,40	1,31	3	1,35	8	1,40	12	5,66
11	1.19	0,80	2,62	6	2,71	8	2,79	11	3,08
12	3.1	1,74	1,91	1	1,97	5	2,04	4	1,69
13	3.2	0,16	0,18	-	0,19	-	0,20	-	-
14	3.3	0,30	0,33	-	0,34	-	0,35	1	0,98
15	3.5	3,60	3,96	5	4,09	10	4,21	14	2,37
16	3.7	4,00	4,40	11	4,54	7	4,68	4	1,62
17	3.9	1,00	1,10	3	1,13	4	1,17	6	3,82
18	3.12	0,25	0,28	1	0,29	1	0,30	1	3,42
19	3.13	1,05	1,16	3	1,19	3	1,23	2	2,24
20	3.15	1,80	1,98	-	2,04	9	2,11	3	1,96
21	3.18	0,80	0,88	-	0,91	-	0,94	3	1,10
22	3.20	1,20	1,32	4	1,36	5	1,40	5	3,43
23	3.21	0,20	0,24	2	0,25	-	0,26	3	6,65
24	3.23	1,10	1,21	3	1,25	4	1,29	4	2,94
25	3.25	2,20	2,42	5	2,50	4	2,58	5	1,87
26	3.27	0,30	0,33	-	0,34	-	0,35	1	0,98
27	3.29	1,20	1,32	3	1,36	2	1,40	1	1,47
28	4.1	0,50	0,59	1	0,61	2	0,63	4	3,80
29	4.2	0,30	0,38	-	0,39	-	0,40	-	-
30	4.3	2,43	2,89	14	2,98	12	3,07	11	4,14
31	4.5	2,20	2,62	3	2,70	4	2,78	8	1,85
32	4.7	2,20	2,62	4	2,70	6	2,78	11	2,59
33	4.9	6,00	7,13	19	7,36	9	7,59	10	1,72
34	4.11	1,65	1,96	6	2,02	10	2,09	6	3,62
35	4.13	2,10	2,50	9	2,58	6	2,66	7	2,85

Tabela A.7 - Continuação

	TH	Extensão TH (km)	2011		2012		2013		F _p
			N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	
36	4.15	2,90	3,45	8	3,56	3	3,67	10	1,97
37	4.17	1,80	2,14	4	2,21	3	2,28	2	1,36
38	4.19	2,10	2,50	9	2,58	2	2,66	4	1,94
39	4.21	0,80	0,95	3	0,98	3	1,01	3	3,06
40	4.23	1,00	1,19	8	1,23	8	1,26	4	5,43
41	4.25	3,60	4,28	6	4,41	6	4,55	8	1,51
42	4.27	6,20	7,37	18	7,60	24	7,84	12	2,37
43	4.29	1,50	1,78	4	1,84	8	1,90	6	3,26
Total		68,63	101,28	226,00	104,47	231,00	107,76	286,00	2,37
						N _{prev} * total		313,52	
						N _{obs} total		743,00	
						C		2,37	

Abreviações: N_{prev}* = número previsto de acidentes, modelo sem calibrar; F_p = Fator de Calibração pontual.

Tabela A.8 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (GO/DF) – Amostra Padrão

	TH	Extensão TH (km)	2011		2012		2013		F _p
			N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	
1	5.1	2,00	5,67	3	5,85	-	6,03	5	0,46
2	5.3	1,40	4,35	3	4,48	1	4,63	7	0,82
3	5.5	1,30	4,04	6	4,16	12	4,30	3	1,68
4	5.6	2,20	5,36	4	5,53	4	5,70	9	1,02
5	5.8	3,10	7,55	11	7,79	12	8,04	13	1,54
6	5.10	2,40	5,85	13	6,03	19	6,22	35	3,70
7	6.1	1,30	2,64	3	2,72	1	2,81	5	1,10
8	6.3	1,00	2,03	2	2,10	2	2,16	2	0,95
9	6.5	0,50	1,02	2	1,05	3	1,08	4	2,86
10	6.7	0,20	0,41	-	0,42	-	0,43	1	0,79
11	6.11	1,00	2,03	13	2,10	15	2,16	6	5,41
12	6.14	0,20	0,41	-	0,42	-	0,43	-	-
13	6.18	0,70	1,49	-	1,54	-	1,59	1	0,22
14	6.19	2,75	5,59	14	5,76	15	5,95	13	2,43
15	6.21	2,20	4,47	10	4,61	9	4,76	10	2,10
16	6.23	0,70	1,42	1	1,47	3	1,51	-	0,91
17	7.1	1,20	1,78	1	1,83	1	1,89	3	0,91
18	7.3	1,70	2,52	7	2,60	4	2,68	3	1,80
19	7.5	4,10	6,07	23	6,26	23	6,46	13	3,14
20	7.6	1,80	2,66	4	2,75	1	2,84	2	0,85
21	7.7	1,30	1,92	2	1,99	1	2,05	1	0,67
22	7.9	3,70	5,48	4	5,65	8	5,83	6	1,06
23	7.11	4,00	5,92	4	6,11	9	6,30	10	1,25
24	7.13	5,30	7,85	8	8,09	5	8,35	7	0,82
25	7.15	6,00	8,88	22	9,16	15	9,45	19	2,04
26	7.18	2,10	3,11	6	3,21	2	3,31	5	1,35
27	7.19	0,80	1,18	3	1,22	3	1,26	2	2,18
28	7.20	0,30	0,44	-	0,46	1	0,47	1	1,45

Tabela A.8 – Continuação

	TH	Extensão TH (km)	2011		2012		2013		F _p
			N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	
29	7.22	0,80	1,18	3	1,22	1	1,26	2	1,64
30	7.24	0,33	0,49	1	0,50	-	0,52	1	1,32
31	7.25	0,17	0,25	3	0,26	-	0,27	-	3,84
32	7.26	3,40	5,03	5	5,19	4	5,36	7	1,03
33	7.27	5,90	8,73	16	9,01	9	9,29	12	1,37
34	7.29	5,20	7,70	11	7,94	8	8,19	6	1,05
35	7.31	2,40	3,55	12	3,66	3	3,78	6	1,91
36	7.33	1,60	2,37	5	2,44	3	2,52	2	1,36
Total		75,05	131,45	225,00	135,59	197,00	139,86	222,00	1,58
						N _{prev} * total		406,90	
						N _{obs} total		644,00	
						C		1,58	

Abreviações: Nprev* = número previsto de acidentes, modelo sem calibrar; Fp = Fator de Calibração pontual.

Tabela A.9 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (MG) – Amostra Total

	TH	Extensão (km)	2011		2012		2013		F _p
			N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	
1	1.1	0,80	2,62	5	2,71	8	2,79	22	4,31
2	1.2	0,80	2,41	3	2,49	5	2,57	10	2,41
3	1.3	0,40	1,31	4	1,35	2	1,40	11	4,19
4	1.4	1,30	4,26	5	4,40	8	4,54	14	2,05
5	1.5	2,05	6,72	13	6,93	12	7,15	20	2,16
6	1.6	0,15	0,48	4	0,49	3	0,51	8	10,13
7	1.7	1,20	3,83	18	3,95	13	4,07	15	3,88
8	1.8	0,20	0,66	2	0,68	1	0,70	3	2,96
9	1.9	0,90	2,71	8	2,80	7	2,89	3	2,14
10	1.10	1,00	3,28	7	3,38	8	3,49	3	1,77
11	1.11	1,20	3,94	4	4,06	5	4,19	5	1,15
12	1.12	2,30	7,33	19	7,56	12	7,80	17	2,11
13	1.13	1,10	3,32	9	3,42	6	3,53	10	2,43
14	1.14	0,85	2,79	3	2,88	6	2,97	9	2,09
15	1.15	0,65	2,07	3	2,14	1	2,21	4	1,25
16	1.16	0,85	2,71	5	2,80	6	2,88	4	1,79
17	1.17	0,40	1,31	3	1,35	8	1,40	12	5,66
18	1.18	0,90	2,71	4	2,80	2	2,89	3	1,07
19	1.19	0,80	2,62	6	2,71	8	2,79	11	3,08
20	3.1	1,74	1,91	1	1,97	5	2,04	4	1,69
21	3.2	0,16	0,18	-	0,19	-	0,20	-	-
22	3.3	0,30	0,33	-	0,34	-	0,35	1	0,98
23	3.4	0,90	0,96	15	0,99	16	1,02	11	14,20
24	3.5	3,60	3,96	5	4,09	10	4,21	14	2,37
25	3.6	0,70	0,75	5	0,77	7	0,80	4	6,88
26	3.7	4,00	4,40	11	4,54	7	4,68	4	1,62
27	3.8	0,55	0,58	1	0,60	2	0,62	8	6,09
28	3.9	1,00	1,10	3	1,13	4	1,17	6	3,82
29	3.11	0,60	0,66	3	0,68	4	0,70	6	6,36
30	3.12	0,25	0,28	1	0,29	1	0,30	1	3,42
31	3.13	1,05	1,16	3	1,19	3	1,23	2	2,24

Tabela A.9 – Continuação

	TH	Extensão (km)	2011		2012		2013		F _p
			N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	
32	3.14	0,65	0,69	-	0,71	5	0,73	2	3,28
33	3.15	1,80	1,98	-	2,04	9	2,11	3	1,96
34	3.16	1,75	1,86	4	1,92	7	1,98	11	3,83
35	3.17	0,60	0,66	3	0,68	8	0,70	3	6,85
36	3.18	0,80	0,88	-	0,91	-	0,94	3	1,10
37	3.19	0,60	0,64	2	0,66	2	0,68	2	3,04
38	3.20	1,20	1,32	4	1,36	5	1,40	5	3,43
39	3.21	0,20	0,24	2	0,25	-	0,26	3	6,65
40	3.22	0,70	0,74	4	0,77	1	0,79	3	3,48
41	3.23	1,10	1,21	3	1,25	4	1,29	4	2,94
42	3.24	0,80	0,85	-	0,88	1	0,90	1	0,76
43	3.25	2,20	2,42	5	2,50	4	2,58	5	1,87
44	3.26	0,50	0,53	2	0,55	2	0,56	6	6,09
45	3.27	0,30	0,33	-	0,34	-	0,35	1	0,98
46	3.28	0,80	0,85	8	0,88	7	0,90	5	7,61
47	3.29	1,20	1,32	3	1,36	2	1,40	1	1,47
48	4.1	0,50	0,59	1	0,61	2	0,63	4	3,80
49	4.2	0,30	0,38	-	0,39	-	0,40	-	-
50	4.3	2,43	2,89	14	2,98	12	3,07	11	4,14
51	4.4	1,67	1,87	3	1,93	5	1,99	3	1,90
52	4.5	2,20	2,62	3	2,70	4	2,78	8	1,85
53	4.6	1,30	1,45	-	1,50	3	1,55	2	1,11
54	4.7	2,20	2,62	4	2,70	6	2,78	11	2,59
55	4.8	1,00	1,12	2	1,15	8	1,19	7	4,91
56	4.9	6,00	7,13	19	7,36	9	7,59	10	1,72
57	4.10	1,10	1,23	3	1,27	2	1,31	2	1,84
58	4.11	1,65	1,96	6	2,02	10	2,09	6	3,62
59	4.12	1,15	1,29	4	1,33	4	1,37	6	3,52
60	4.13	2,10	2,50	9	2,58	6	2,66	7	2,85
61	4.14	1,00	1,12	1	1,15	7	1,19	4	3,47
62	4.15	2,90	3,45	8	3,56	3	3,67	10	1,97
63	4.16	0,90	1,01	2	1,04	1	1,07	-	0,96
64	4.17	1,80	2,14	4	2,21	3	2,28	2	1,36
65	4.18	1,00	1,12	4	1,15	1	1,19	1	1,73
66	4.19	2,10	2,50	9	2,58	2	2,66	4	1,94
67	4.20	1,00	1,12	5	1,15	3	1,19	2	2,89
68	4.21	0,80	0,95	3	0,98	3	1,01	3	3,06
69	4.22	0,70	0,78	2	0,81	2	0,83	2	2,48
70	4.23	1,00	1,19	8	1,23	8	1,26	4	5,43
71	4.24	1,00	1,12	7	1,15	8	1,19	5	5,78
72	4.25	3,60	4,28	6	4,41	6	4,55	8	1,51
73	4.26	1,00	1,12	8	1,15	2	1,19	9	5,49
74	4.27	6,20	7,37	18	7,60	24	7,84	12	2,37
75	4.28	1,20	1,34	2	1,38	3	1,43	6	2,65
76	4.29	1,50	1,78	4	1,84	8	1,90	6	3,26
Total		99,20	149,91	372,00	154,63	392,00	159,50	458,00	2,63
					N _{prev} * total			464,04	
					N _{obs} total			1.222,00	
					C			2,63	

Abreviações: Nprev* = número previsto de acidentes, modelo sem calibrar; Fp = Fator de Calibração pontual.

Tabela A.10 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (GO/DF) – Amostra Total

	TH	Extensão (km)	2011		2012		2013		F _p
			N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	
1	5.1	2,00	5,67	3	5,85	-	6,03	5	0,46
2	5.2	0,70	1,93	4	1,99	4	2,06	1	1,50
3	5.3	1,40	4,35	3	4,48	1	4,63	7	0,82
4	5.4	0,80	2,42	4	2,50	4	2,58	5	1,74
5	5.5	1,30	4,04	6	4,16	12	4,30	3	1,68
6	5.6	2,20	5,36	4	5,53	4	5,70	9	1,02
7	5.7	0,80	1,90	-	1,96	1	2,02	-	0,17
8	5.8	3,10	7,55	11	7,79	12	8,04	13	1,54
9	5.9	0,90	2,14	1	2,20	1	2,27	2	0,60
10	5.10	2,40	5,85	13	6,03	19	6,22	35	3,70
11	6.1	1,30	2,64	3	2,72	1	2,81	5	1,10
12	6.2	0,90	1,80	1	1,86	1	1,92	7	1,62
13	6.3	1,00	2,03	2	2,10	2	2,16	2	0,95
14	6.4	0,90	1,80	2	1,86	1	1,92	5	1,44
15	6.5	0,50	1,02	2	1,05	3	1,08	4	2,86
16	6.6	0,80	1,63	4	1,68	-	1,73	4	1,59
17	6.7	0,20	0,41	-	0,42	-	0,43	1	0,79
18	6.8	0,80	1,60	-	1,65	3	1,70	3	1,21
19	6.9	0,90	1,83	2	1,89	1	1,95	-	0,53
20	6.10	1,20	2,40	2	2,48	3	2,55	8	1,75
21	6.11	1,00	2,03	13	2,10	15	2,16	6	5,41
22	6.13	0,85	1,73	6	1,78	8	1,84	5	3,55
23	6.14	0,20	0,41	-	0,42	-	0,43	-	-
24	6.15	0,25	0,51	1	0,52	1	0,54	2	2,54
25	6.16	0,95	1,90	2	1,96	6	2,02	2	1,70
26	6.17	1,80	3,66	4	3,77	6	3,89	6	1,41
27	6.18	0,70	1,49	-	1,54	-	1,59	1	0,22
28	6.19	2,75	5,59	14	5,76	15	5,95	13	2,43
29	6.20	1,00	2,00	12	2,06	12	2,13	8	5,17
30	6.21	2,20	4,47	10	4,61	9	4,76	10	2,10
31	6.22	0,90	1,80	2	1,86	3	1,92	2	1,26
32	6.23	0,70	1,42	1	1,47	3	1,51	-	0,91
33	7.1	1,20	1,78	1	1,83	1	1,89	3	0,91
34	7.2	0,60	0,86	2	0,88	1	0,91	1	1,51
35	7.3	1,70	2,52	7	2,60	4	2,68	3	1,80
36	7.4	0,50	0,71	1	0,74	2	0,76	2	2,27
37	7.5	4,10	6,07	23	6,26	23	6,46	13	3,14
38	7.6	1,80	2,66	4	2,75	1	2,84	2	0,85
39	7.7	1,30	1,92	2	1,99	1	2,05	1	0,67
40	7.8	0,60	0,86	4	0,88	2	0,91	-	2,27
41	7.9	3,70	5,48	4	5,65	8	5,83	6	1,06
42	7.10	0,90	1,28	1	1,32	2	1,36	4	1,76
43	7.11	4,00	5,92	4	6,11	9	6,30	10	1,25
44	7.12	0,60	0,86	2	0,88	3	0,91	1	2,27
45	7.13	5,30	7,85	8	8,09	5	8,35	7	0,82
46	7.14	0,70	1,00	5	1,03	-	1,06	-	1,62
47	7.15	6,00	8,88	22	9,16	15	9,45	19	2,04
48	7.17	0,80	1,14	12	1,18	9	1,21	2	6,52

Tabela A.10 – Continuação

TH	Extensão (km)	2011		2012		2013		F _p	
		N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}		
49	7.18	2,10	3,11	6	3,21	2	3,31	5	1,35
50	7.19	0,80	1,18	3	1,22	3	1,26	2	2,18
51	7.20	0,30	0,44	-	0,46	1	0,47	1	1,45
52	7.21	0,60	0,86	2	0,88	3	0,91	3	3,02
53	7.22	0,80	1,18	3	1,22	1	1,26	2	1,64
54	7.23	0,80	1,14	2	1,18	2	1,21	1	1,42
55	7.24	0,33	0,49	1	0,50	-	0,52	1	1,32
56	7.25	0,17	0,25	3	0,26	-	0,27	-	3,84
57	7.26	3,40	5,03	5	5,19	4	5,36	7	1,03
58	7.27	5,90	8,73	16	9,01	9	9,29	12	1,37
59	7.28	1,00	1,43	4	1,47	1	1,52	2	1,59
60	7.29	5,20	7,70	11	7,94	8	8,19	6	1,05
61	7.30	1,60	2,28	4	2,35	1	2,43	6	1,56
62	7.31	2,40	3,55	12	3,66	3	3,78	6	1,91
63	7.32	1,20	1,71	5	1,76	5	1,82	3	2,46
64	7.33	1,60	2,37	5	2,44	3	2,52	2	1,36
Total	99,40	176,60	316,00	182,16	283,00	187,89	307,00	1,66	
					N _{prev} * total		546,65		
					N _{obs} total		906,00		
					C		1,66		

Abreviações: Nprev* = número previsto de acidentes, modelo sem calibrar; Fp = Fator de Calibração pontual.

Tabela A.11 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (MG) – Amostra Retornos

TH	Extensão (km)	2011		2012		2013		F _p	
		N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}		
1	1.2	0,80	2,41	3	2,49	5	2,57	10	2,41
2	1.9	0,90	2,71	8	2,80	7	2,89	3	2,14
3	1.13	1,10	3,32	9	3,42	6	3,53	10	2,43
4	1.18	0,90	2,71	4	2,80	2	2,89	3	1,07
5	3.4	0,90	0,96	15	0,99	16	1,02	11	14,20
6	3.6	0,70	0,75	5	0,77	7	0,80	4	6,88
7	3.8	0,55	0,58	1	0,60	2	0,62	8	6,09
8	3.14	0,65	0,69	-	0,71	5	0,73	2	3,28
9	3.16	1,75	1,86	4	1,92	7	1,98	11	3,83
10	3.19	0,60	0,64	2	0,66	2	0,68	2	3,04
11	3.22	0,70	0,74	4	0,77	1	0,79	3	3,48
12	3.24	0,80	0,85	-	0,88	1	0,90	1	0,76
13	3.26	0,50	0,53	2	0,55	2	0,56	6	6,09
14	3.28	0,80	0,85	8	0,88	7	0,90	5	7,61
15	4.4	1,67	1,87	3	1,93	5	1,99	3	1,90
16	4.6	1,30	1,45	-	1,50	3	1,55	2	1,11
17	4.8	1,00	1,12	2	1,15	8	1,19	7	4,91
18	4.10	1,10	1,23	3	1,27	2	1,31	2	1,84
19	4.12	1,15	1,29	4	1,33	4	1,37	6	3,52
20	4.14	1,00	1,12	1	1,15	7	1,19	4	3,47
21	4.16	0,90	1,01	2	1,04	1	1,07	-	0,96
22	4.18	1,00	1,12	4	1,15	1	1,19	1	1,73
23	4.20	1,00	1,12	5	1,15	3	1,19	2	2,89

Tabela A.11 – Continuação

TH	Extensão (km)	2011		2012		2013		F _p		
		N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}			
24	4.22	0,70	0,78	2	0,81	2	0,83	2	2,48	
25	4.24	1,00	1,12	7	1,15	8	1,19	5	5,78	
26	4.26	1,00	1,12	8	1,15	2	1,19	9	5,49	
27	4.28	1,20	1,34	2	1,38	3	1,43	6	2,65	
Total	25,67	35,28	108,00	36,39	119,00	37,54	128,00		3,25	
							N _{prev} * total	109,21		
							N _{obs} total	355,00		
							C	3,25		

Abreviações: N_{prev}* = número previsto de acidentes, modelo sem calibrar; F_p = Fator de Calibração pontual.

Tabela A.12 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (GO/DF) – Amostra Retornos

TH	Extensão (km)	2011		2012		2013		F _p		
		N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}			
1	5.2	0,70	1,93	4	1,99	4	2,06	1	1,50	
2	5.4	0,80	2,42	4	2,50	4	2,58	5	1,74	
3	5.7	0,80	1,90	-	1,96	1	2,02	-	0,17	
4	5.9	0,90	2,14	1	2,20	1	2,27	2	0,60	
5	6.2	0,90	1,80	1	1,86	1	1,92	7	1,62	
6	6.4	0,90	1,80	2	1,86	1	1,92	5	1,44	
7	6.8	0,80	1,60	-	1,65	3	1,70	3	1,21	
8	6.10	1,20	2,40	2	2,48	3	2,55	8	1,75	
9	6.16	0,95	1,90	2	1,96	6	2,02	2	1,70	
10	6.20	1,00	2,00	12	2,06	12	2,13	8	5,17	
11	6.22	0,90	1,80	2	1,86	3	1,92	2	1,26	
12	7.2	0,60	0,86	2	0,88	1	0,91	1	1,51	
13	7.4	0,50	0,71	1	0,74	2	0,76	2	2,27	
14	7.8	0,60	0,86	4	0,88	2	0,91	-	2,27	
15	7.10	0,90	1,28	1	1,32	2	1,36	4	1,76	
16	7.12	0,60	0,86	2	0,88	3	0,91	1	2,27	
17	7.14	0,70	1,00	5	1,03	-	1,06	-	1,62	
18	7.17	0,80	1,14	12	1,18	9	1,21	2	6,52	
19	7.21	0,60	0,86	2	0,88	3	0,91	3	3,02	
20	7.23	0,80	1,14	2	1,18	2	1,21	1	1,42	
21	7.28	1,00	1,43	4	1,47	1	1,52	2	1,59	
22	7.30	1,60	2,28	4	2,35	1	2,43	6	1,56	
23	7.32	1,20	1,71	5	1,76	5	1,82	3	2,46	
Total	19,75	35,80	74,00	36,92	70,00	38,09	68,00		1,91	
							N _{prev} * total	110,81		
							N _{obs} total	212,00		
							C	1,91		

Abreviações: N_{prev}* = número previsto de acidentes, modelo sem calibrar; F_p = Fator de Calibração pontual.

Tabela A.13 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (MG) – Amostra FA

	TH	Extensão (km)	2011		2012		2013		F _p
			N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	
1	1.4	1,30	4,26	5	4,40	8	4,54	14	2,05
2	1.7	1,20	3,83	18	3,95	13	4,07	15	3,88
3	1.8	0,20	0,66	2	0,68	1	0,70	3	2,96
4	1.10	1,00	3,28	7	3,38	8	3,49	3	1,77
5	3.11	0,60	0,66	3	0,68	4	0,70	6	6,36
6	3.17	0,60	0,66	3	0,68	8	0,70	3	6,85
Total		4,90	13,34	38,00	13,76	42,00	14,20	44,00	3,00
								N _{prev} * total	41,31
								N _{obs} total	124,00
								C	3,00

Abreviações: Nprev* = número previsto de acidentes, modelo sem calibrar; Fp = Fator de Calibração pontual.

Tabela A.14 – Resultado do procedimento de calibração por trecho homogêneo e o valor final, por região (GO/DF) – Amostra FA

	TH	Extensão (km)	2011		2012		2013		F _p
			N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	N _{prev} *	N _{obs}	
1	6.6	0,80	1,63	4	1,68	-	1,73	4	1,59
2	6.9	0,90	1,83	2	1,89	1	1,95	-	0,53
3	6.13	0,85	1,73	6	1,78	8	1,84	5	3,55
4	6.15	0,25	0,51	1	0,52	1	0,54	2	2,54
5	6.17	1,80	3,66	4	3,77	6	3,89	6	1,41
Total		4,60	9,35	17,00	9,64	16,00	9,95	17,00	1,73
								N _{prev} * total	28,93
								N _{obs} total	50,00
								C	1,73

Abreviações: Nprev* = número previsto de acidentes, modelo sem calibrar; Fp = Fator de Calibração pontual.

As Tabelas A.15 a A.22 constituem as tabelas de aplicação do método EB, com a indicação do fator de ponderação (w) e do parâmetro de superdispersão (k) em cada TH para cada região e para cada cenário.

Tabela A.15 – Resultado da aplicação do Método EB, por região (MG) – Amostra Padrão

TH	Modelo calibrado N _{prev} Total	N _{obs} Total	Método EB		
			k	w	N _{esperado}
1.1	19,24	35	0,427	0,108	33,29
1.3	9,62	17	0,855	0,108	16,20
1.5	49,32	45	0,167	0,108	45,47
1.6	3,51	15	2,279	0,111	13,72
1.11	28,87	14	0,285	0,108	15,61
1.12	53,79	48	0,149	0,111	48,64
1.14	20,45	18	0,402	0,108	18,27
1.15	15,20	8	0,526	0,111	8,80
1.16	19,88	15	0,402	0,111	15,54
1.17	9,62	23	0,855	0,108	21,55

Tabela A.15 – Continuação

TH	Modelo calibrado N_{prev} Total	N_{obs} Total	Método EB		
			k	w	$N_{esperado}$
1.19	19,24	25	0,427	0,108	24,38
3.1	14,04	10	0,197	0,266	11,08
3.2	1,35	0	2,137	0,257	0,35
3.3	2,42	1	1,140	0,266	1,38
3.5	29,05	29	0,095	0,266	29,01
3.7	32,28	22	0,085	0,266	24,73
3.9	8,07	13	0,342	0,266	11,69
3.12	2,08	3	1,368	0,260	2,76
3.13	8,47	8	0,326	0,266	8,13
3.15	14,53	12	0,190	0,266	12,67
3.18	6,46	3	0,427	0,266	3,92
3.20	9,68	14	0,285	0,266	12,85
3.21	1,78	5	1,710	0,247	4,21
3.23	8,88	11	0,311	0,266	10,44
3.25	17,75	14	0,155	0,266	15,00
3.27	2,42	1	1,140	0,266	1,38
3.29	9,68	6	0,285	0,266	6,98
4.1	4,36	7	0,684	0,251	6,34
4.2	2,79	0	1,140	0,239	0,67
4.3	21,19	37	0,141	0,251	33,03
4.5	19,19	15	0,155	0,251	16,05
4.7	19,19	21	0,155	0,251	20,54
4.9	52,33	38	0,057	0,251	41,60
4.11	14,39	22	0,207	0,251	20,09
4.13	18,31	22	0,163	0,251	21,07
4.15	25,29	21	0,118	0,251	22,08
4.17	15,70	9	0,190	0,251	10,68
4.19	18,31	15	0,163	0,251	15,83
4.21	6,98	9	0,427	0,251	8,49
4.23	8,72	20	0,342	0,251	17,17
4.25	31,40	20	0,095	0,251	22,86
4.27	54,07	54	0,055	0,251	54,02
4.29	13,08	18	0,228	0,251	16,76
Total	743,00	743,00			745,32

Abreviações: w = fator de ponderação referente à SPF; k: parâmetro de superdispersão associado à SPF.

Tabela A.16 – Resultado da aplicação do Método EB, por região (GO/DF) – Amostra Padrão

TH	Modelo calibrado N_{prev} Total	N_{obs} Total	Método EB		
			k	w	$N_{esperado}$
5.1	27,76	8,00	0,17	0,17	11,44
5.3	21,30	11,00	0,24	0,16	12,66
5.5	19,78	21,00	0,26	0,16	20,80
5.6	26,26	17,00	0,16	0,20	18,82
5.8	37,00	36,00	0,11	0,20	36,20
5.10	28,64	67,00	0,14	0,20	59,45
6.1	12,94	9,00	0,26	0,23	9,90
6.3	9,96	6,00	0,34	0,23	6,90

Tabela A.16 – Continuação

TH	Modelo calibrado		N _{obs} Total	Método EB		
	N _{prev} Total			k	w	N _{esperado}
6.5	4,98		9,00	0,68	0,23	8,09
6.7	1,99		1,00	1,71	0,23	1,23
6.11	9,96		34,00	0,34	0,23	28,54
6.14	1,99		-	1,71	0,23	0,45
6.18	7,32		1,00	0,49	0,22	2,38
6.19	27,38		42,00	0,12	0,23	38,68
6.21	21,90		29,00	0,16	0,23	27,39
6.23	6,97		4,00	0,49	0,23	4,67
7.1	8,70		5,00	0,28	0,29	6,06
7.3	12,33		14,00	0,20	0,29	13,52
7.5	29,74		59,00	0,08	0,29	50,59
7.6	13,06		7,00	0,19	0,29	8,74
7.7	9,43		4,00	0,26	0,29	5,56
7.9	26,84		18,00	0,09	0,29	20,54
7.11	29,01		23,00	0,09	0,29	24,73
7.13	38,44		20,00	0,06	0,29	25,30
7.15	43,52		56,00	0,06	0,29	52,41
7.18	15,23		13,00	0,16	0,29	13,64
7.19	5,80		8,00	0,43	0,29	7,37
7.20	2,18		2,00	1,14	0,29	2,05
7.22	5,80		6,00	0,43	0,29	5,94
7.24	2,39		2,00	1,04	0,29	2,11
7.25	1,24		3,00	2,01	0,29	2,49
7.26	24,66		16,00	0,10	0,29	18,49
7.27	42,79		37,00	0,06	0,29	38,66
7.29	37,71		25,00	0,07	0,29	28,65
7.31	17,41		21,00	0,14	0,29	19,97
7.33	11,60		10,00	0,21	0,29	10,46
Total	644,00		644,00			644,89

Abreviações: w = fator de ponderação referente à SPF; k: parâmetro de superdispersão associado à SPF.

Tabela A.17 – Resultado da aplicação do Método EB, por região (MG) – Amostra Total

TH	Modelo calibrado		N _{obs} Total	Método EB		
	N _{prev} Total			k	w	N _{esperado}
1.1	21,38		35	0,427	0,099	33,66
1.2	19,67		18	0,427	0,106	18,18
1.3	10,69		17	0,855	0,099	16,38
1.4	34,75		27	0,263	0,099	27,76
1.5	54,80		45	0,167	0,099	45,97
1.6	3,90		15	2,279	0,101	13,88
1.7	31,19		46	0,285	0,101	44,50
1.8	5,35		6	1,710	0,099	5,94
1.9	22,13		18	0,380	0,106	18,44
1.10	26,73		18	0,342	0,099	18,86
1.11	32,08		14	0,285	0,099	15,78
1.12	59,78		48	0,149	0,101	49,19
1.13	27,04		25	0,311	0,106	25,22
1.14	22,72		18	0,402	0,099	18,47

Tabela A.17 – Continuação

TH	Modelo calibrado		N _{obs} Total	Método EB		
	N _{prev}	Total		k	w	N _{esperado}
1.15		16,89	8	0,526	0,101	8,90
1.16		22,09	15	0,402	0,101	15,72
1.17		10,69	23	0,855	0,099	21,79
1.18		22,13	9	0,380	0,106	10,40
1.19		21,38	25	0,427	0,099	24,64
3.1		15,60	10	0,197	0,246	11,38
3.2		1,50	0	2,137	0,238	0,36
3.3		2,69	1	1,140	0,246	1,42
3.4		7,79	42	0,380	0,253	33,36
3.5		32,28	29	0,095	0,246	29,81
3.6		6,12	16	0,488	0,251	13,53
3.7		35,87	22	0,085	0,246	25,41
3.8		4,76	11	0,622	0,253	9,42
3.9		8,97	13	0,342	0,246	12,01
3.11		5,38	13	0,570	0,246	11,13
3.12		2,31	3	1,368	0,241	2,83
3.13		9,42	8	0,326	0,246	8,35
3.14		5,62	7	0,526	0,253	6,65
3.15		16,14	12	0,190	0,246	13,02
3.16		15,14	22	0,195	0,253	20,27
3.17		5,38	14	0,570	0,246	11,88
3.18		7,17	3	0,427	0,246	4,03
3.19		5,19	6	0,570	0,253	5,80
3.20		10,76	14	0,285	0,246	13,20
3.21		1,98	5	1,710	0,228	4,31
3.22		6,06	8	0,488	0,253	7,51
3.23		9,86	11	0,311	0,246	10,72
3.24		6,92	2	0,427	0,253	3,24
3.25		19,73	14	0,155	0,246	15,41
3.26		4,33	10	0,684	0,253	8,57
3.27		2,69	1	1,140	0,246	1,42
3.28		6,92	20	0,427	0,253	16,70
3.29		10,76	6	0,285	0,246	7,17
4.1		4,85	7	0,684	0,232	6,50
4.2		3,10	0	1,140	0,220	0,68
4.3		23,55	37	0,141	0,232	33,88
4.4		15,22	11	0,205	0,243	12,03
4.5		21,32	15	0,155	0,232	16,47
4.6		11,85	5	0,263	0,243	6,66
4.7		21,32	21	0,155	0,232	21,07
4.8		9,11	17	0,342	0,243	15,08
4.9		58,14	38	0,057	0,232	42,67
4.10		10,03	7	0,311	0,243	7,74
4.11		15,99	22	0,207	0,232	20,61
4.12		10,48	14	0,297	0,243	13,15
4.13		20,35	22	0,163	0,232	21,62
4.14		9,11	12	0,342	0,243	11,30
4.15		28,10	21	0,118	0,232	22,65
4.16		8,20	3	0,380	0,243	4,26
4.17		17,44	9	0,190	0,232	10,96

Tabela A.17 – Continuação

TH	Modelo calibrado		N _{obs} Total	Método EB		
	N _{prev}	Total		k	w	N _{esperado}
4.18	9,11	9,11	6	0,342	0,243	6,76
4.19	20,35	20,35	15	0,163	0,232	16,24
4.20	9,11	9,11	10	0,342	0,243	9,78
4.21	7,75	7,75	9	0,427	0,232	8,71
4.22	6,38	6,38	6	0,488	0,243	6,09
4.23	9,69	9,69	20	0,342	0,232	17,61
4.24	9,11	9,11	20	0,342	0,243	17,36
4.25	34,89	34,89	20	0,095	0,232	23,45
4.26	9,11	9,11	19	0,342	0,243	16,60
4.27	60,08	60,08	54	0,055	0,232	55,41
4.28	10,94	10,94	11	0,285	0,243	10,98
4.29	14,54	14,54	18	0,228	0,232	17,20
Total	1.222,00	1.222,00	1.222,00			1.216

Abreviações: w = fator de ponderação referente à SPF; k: parâmetro de superdispersão associado à SPF.

Tabela A.18 - Resultado da aplicação do Método EB, por região (GO/DF) – Amostra Total

TH	Modelo calibrado		N _{obs} Total	Método EB		
	N _{prev}	Total		k	w	N _{esperado}
5.1	29,07	29,07	8,00	0,17	0,17	11,53
5.2	9,91	9,91	9,00	0,49	0,17	9,16
5.3	22,30	22,30	11,00	0,24	0,16	12,75
5.4	12,42	12,42	13,00	0,43	0,16	12,91
5.5	20,71	20,71	21,00	0,26	0,16	20,96
5.6	27,50	27,50	17,00	0,16	0,19	18,99
5.7	9,74	9,74	1,00	0,43	0,19	2,69
5.8	38,75	38,75	36,00	0,11	0,19	36,52
5.9	10,96	10,96	4,00	0,38	0,19	5,35
5.10	30,00	30,00	67,00	0,14	0,19	59,98
6.1	13,55	13,55	9,00	0,26	0,22	10,00
6.2	9,23	9,23	9,00	0,38	0,22	9,05
6.3	10,43	10,43	6,00	0,34	0,22	6,97
6.4	9,23	9,23	8,00	0,38	0,22	8,27
6.5	5,21	5,21	9,00	0,68	0,22	8,17
6.6	8,34	8,34	8,00	0,43	0,22	8,07
6.7	2,09	2,09	1,00	1,71	0,22	1,24
6.8	8,21	8,21	6,00	0,43	0,22	6,49
6.9	9,38	9,38	3,00	0,38	0,22	4,40
6.10	12,31	12,31	13,00	0,28	0,22	12,85
6.11	10,43	10,43	34,00	0,34	0,22	28,84
6.13	8,86	8,86	19,00	0,40	0,22	16,78
6.14	2,09	2,09	-	1,71	0,22	0,46
6.15	2,61	2,61	4,00	1,37	0,22	3,69
6.16	9,75	9,75	10,00	0,36	0,22	9,94
6.17	18,77	18,77	16,00	0,19	0,22	16,61
6.18	7,67	7,67	1,00	0,49	0,21	2,41
6.19	28,67	28,67	42,00	0,12	0,22	39,08
6.20	10,26	10,26	32,00	0,34	0,22	27,18
6.21	22,94	22,94	29,00	0,16	0,22	27,67

Tabela A.18 – Continuação

TH	Modelo		Método EB		
	calibrado N_{prev} Total	N_{obs} Total	k	w	$N_{esperado}$
6.22	9,23	7,00	0,38	0,22	7,50
6.23	7,30	4,00	0,49	0,22	4,72
7.1	9,11	5,00	0,28	0,28	6,14
7.2	4,39	4,00	0,57	0,29	4,11
7.3	12,91	14,00	0,20	0,28	13,70
7.4	3,66	5,00	0,68	0,29	4,62
7.5	31,14	59,00	0,08	0,28	51,25
7.6	13,67	7,00	0,19	0,28	8,85
7.7	9,87	4,00	0,26	0,28	5,63
7.8	4,39	6,00	0,57	0,29	5,54
7.9	28,10	18,00	0,09	0,28	20,81
7.10	6,58	7,00	0,38	0,29	6,88
7.11	30,38	23,00	0,09	0,28	25,05
7.12	4,39	6,00	0,57	0,29	5,54
7.13	40,25	20,00	0,06	0,28	25,63
7.14	5,12	5,00	0,49	0,29	5,03
7.15	45,57	56,00	0,06	0,28	53,10
7.17	5,85	23,00	0,43	0,29	18,10
7.18	15,95	13,00	0,16	0,28	13,82
7.19	6,08	8,00	0,43	0,28	7,47
7.20	2,28	2,00	1,14	0,28	2,08
7.21	4,39	8,00	0,57	0,29	6,97
7.22	6,08	6,00	0,43	0,28	6,02
7.23	5,85	5,00	0,43	0,29	5,24
7.24	2,51	2,00	1,04	0,28	2,14
7.25	1,29	3,00	2,01	0,28	2,53
7.26	25,82	16,00	0,10	0,28	18,73
7.27	44,81	37,00	0,06	0,28	39,17
7.28	7,31	7,00	0,34	0,29	7,09
7.29	39,49	25,00	0,07	0,28	29,03
7.30	11,70	11,00	0,21	0,29	11,20
7.31	18,23	21,00	0,14	0,28	20,23
7.32	8,77	13,00	0,28	0,29	11,79
7.33	12,15	10,00	0,21	0,28	10,60
Total	906,00	906,00			905,31

Abreviações: w = fator de ponderação referente à SPF; k: parâmetro de superdispersão associado à SPF.

Tabela A.19 - Resultado da aplicação do Método EB, por região (MG) – Amostra Retornos

TH	Modelo		Método EB		
	calibrado N_{prev} Total	N_{obs} Total	k	w	$N_{esperado}$
1.2	24,28	18	0,427	0,088	18,55
1.9	27,31	18	0,380	0,088	18,82
1.13	33,38	25	0,311	0,088	25,74
1.18	27,31	9	0,380	0,088	10,61
3.4	9,61	42	0,380	0,215	35,04
3.6	7,56	16	0,488	0,213	14,20
3.8	5,87	11	0,622	0,215	9,90

Tabela A.19 – Continuação

TH	Modelo		Método EB				
	calibrado	N_{prev}	N_{obs}	Total	k	w	$N_{esperado}$
	Total						
3.14	6,94		7		0,526	0,215	6,99
3.16	18,69		22		0,195	0,215	21,29
3.19	6,41		6		0,570	0,215	6,09
3.22	7,48		8		0,488	0,215	7,89
3.24	8,54		2		0,427	0,215	3,41
3.26	5,34		10		0,684	0,215	9,00
3.28	8,54		20		0,427	0,215	17,54
4.4	18,79		11		0,205	0,206	12,61
4.6	14,63		5		0,263	0,206	6,99
4.8	11,25		17		0,342	0,206	15,81
4.10	12,38		7		0,311	0,206	8,11
4.12	12,94		14		0,297	0,206	13,78
4.14	11,25		12		0,342	0,206	11,85
4.16	10,13		3		0,380	0,206	4,47
4.18	11,25		6		0,342	0,206	7,08
4.20	11,25		10		0,342	0,206	10,26
4.22	7,88		6		0,488	0,206	6,39
4.24	11,25		20		0,342	0,206	18,19
4.26	11,25		19		0,342	0,206	17,40
4.28	13,50		11		0,285	0,206	11,52
Total	355,00		355,00				349

Abreviações: w = fator de ponderação referente à SPF; k: parâmetro de superdispersão associado à SPF.

Tabela A.20 - Resultado da aplicação do Método EB, por região (GO/DF) – Amostra Retornos

TH	Modelo calibrado		N_{obs}	Método EB		
	N_{prev}	Total		k	w	$N_{esperado}$
5.2		11,44	9,00	0,49	0,15	9,37
5.4		14,33	13,00	0,43	0,14	13,19
5.7		11,25	1,00	0,43	0,17	2,76
5.9		12,65	4,00	0,38	0,17	5,49
6.2		10,66	9,00	0,38	0,20	9,33
6.4		10,66	8,00	0,38	0,20	8,53
6.8		9,48	6,00	0,43	0,20	6,69
6.10		14,21	13,00	0,28	0,20	13,24
6.16		11,25	10,00	0,36	0,20	10,25
6.20		11,84	32,00	0,34	0,20	28,01
6.22		10,66	7,00	0,38	0,20	7,72
7.2		5,06	4,00	0,57	0,26	4,27
7.4		4,22	5,00	0,68	0,26	4,80
7.8		5,06	6,00	0,57	0,26	5,76
7.10		7,60	7,00	0,38	0,26	7,15
7.12		5,06	6,00	0,57	0,26	5,76
7.14		5,91	5,00	0,49	0,26	5,23
7.17		6,75	23,00	0,43	0,26	18,82
7.21		5,06	8,00	0,57	0,26	7,24
7.23		6,75	5,00	0,43	0,26	5,45
7.28		8,44	7,00	0,34	0,26	7,37

Tabela A.20 – Continuação

TH	Modelo calibrado N_{prev}		N_{obs} Total	Método EB		
	Total			k	w	$N_{esperado}$
7.30	13,50		11,00	0,21	0,26	11,64
7.32	10,13		13,00	0,28	0,26	12,26
Total	212,00		212,00			210,35

Abreviações: w = fator de ponderação referente à SPF; k: parâmetro de superdispersão associado à SPF.

Tabela A.21 - Resultado da aplicação do Método EB, por região (MG) – Amostra Faixas Adicionais

TH	Modelo calibrado		N_{obs} Total	Método EB		
	N_{prev}	Total		k	w	$N_{esperado}$
1.4	39,61		27	0,263	0,088	28,10
1.7	35,55		46	0,285	0,090	45,06
1.8	6,09		6	1,710	0,088	6,01
1.10	30,47		18	0,342	0,088	19,09
3.11	6,13		13	0,570	0,222	11,47
3.17	6,13		14	0,570	0,222	12,25
Total	124,00		124,00			122

Abreviações: w = fator de ponderação referente à SPF; k: parâmetro de superdispersão associado à SPF.

Tabela A.22 - Resultado da aplicação do Método EB, por região (GO/DF) – Amostra Faixas Adicionais

TH	Modelo calibrado		N_{obs} Total	Método EB		
	N_{prev}	Total		k	w	$N_{esperado}$
6.6	8,70		8,00	0,43	0,21	8,15
6.9	9,78		3,00	0,38	0,21	4,44
6.13	9,24		19,00	0,40	0,21	16,93
6.15	2,72		4,00	1,37	0,21	3,73
6.17	19,57		16,00	0,19	0,21	16,76
Total	50,00		50,00			50,00

Abreviações: w = fator de ponderação referente à SPF; k: parâmetro de superdispersão associado à SPF.